

# **CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS ATRAVÉS DE ENSAIOS LABORATORIAIS E *IN SITU***

**MARINA INÊS NOGUEIRA RODRIGUES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

AGOSTO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

*O homem é aquilo que sabe*

*Francis Bacon*



## **AGRADECIMENTOS**

Na recta final deste trabalho não posso deixar de agradecer a todos os que, de diferentes modos e em diferentes etapas, contribuíram para a sua realização.

Começo por agradecer ao meu orientador, o Prof. Nuno Ramos, pela proposta do tema, disponibilidade de meios laboratoriais necessários ao estudo e, sobretudo, pela motivação e empenho demonstrados e disponibilidade ímpar. O poder de escolha que o Prof. me ofereceu fez com que o trabalho nunca fosse desmotivador.

Agradeço, como não poderia deixar de ser, ao Eng.º Pedro Pereira pelo incansável apoio, motivação e disponibilidade para me ajudar na realização dos ensaios. Agradeço-lhe ainda por me disponibilizar toda a informação de que dispunha.

Deixo aqui o meu muito obrigado ao Eng.º António Eduardo Costa pela partilha de conhecimento e, sobretudo, pela motivação e alegria que adicionou aos meus dias passados no Laboratório de Física das Construções (LFC).

Quero também mostrar reconhecimento aos meus colegas de curso, principalmente ao Bruno Nascimento, à Inês Menezes, à Patrícia Carvalho e ao Bernardino Assunção, pela amizade e ajuda, mesmo que não directa na realização deste trabalho, afinal o estado emocional influencia a realização de qualquer tarefa.

Deixo ainda uma palavra de agradecimento a todos os meus amigos que, embora não entendessem muito do assunto tratado, disponibilizaram tempo e paciência para a leitura deste texto. E à Marta Lameira pela ajuda na tradução do resumo.

Agradeço aos meus pais que desempenham os seus papéis de melhores pais do mundo quase sem lapsos, o que reconheço ser muito difícil. E à minha irmã e sobrinha cuja importância na minha vida é indescritível.

Por fim, agradeço ao meu maior amigo, Jesus, por me levar ao colo nos momentos mais difíceis e por caminhar ao meu lado em todos os outros, todos os dias da minha vida.



## RESUMO

Existe um grande conjunto de normas aplicáveis ao sector da Construção, que visam estabelecer procedimentos experimentais para determinação de propriedades de materiais, avaliar o desempenho e caracterizar componentes e sistemas ou testar o edifício como um todo. Contudo, embora essa normalização seja vasta não tem tido a necessária aplicação na Engenharia Civil.

Os ensaios laboratoriais e *in situ*, regidos pela normalização correspondente, permitem, entre outras coisas, a caracterização das propriedades dos materiais e sistemas construtivos, a avaliação e definição do seu desempenho e a obtenção de dados para simulações numéricas.

Neste trabalho procede-se a uma selecção de propriedades e comportamentos dos materiais e componentes ou sistemas construtivos cujo conhecimento se torna imprescindível para se proceder à aplicação dos mesmos. E associa-se a cada propriedade ou comportamento a sua definição, simbologia, método de determinação e referências normativas.

A partir dos diversos ensaios disponíveis no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), foi seleccionado um conjunto destinado a implementar o princípio referido. Esses ensaios são: arrancamento por tracção, choque de esfera, permeabilidade líquida e condutibilidade térmica para diferentes teores de humidade.

A realização dos ensaios laboratoriais e *in situ* tem por objectivo conhecer cada ensaio, infra-estrutura necessária para a sua realização, procedimentos, limitações, campo de aplicação e particularidades introduzidas pelos diferentes textos normativos. Assim, antes da realização de qualquer um dos ensaios procede-se a uma revisão bibliográfica, sobretudo em normas que regem a sua realização e análise e quantificação dos resultados expectáveis aquando da sua aplicação a diversos materiais.

O objectivo principal da realização dos ensaios não é apenas a obtenção de resultados, mas sim a avaliação de dificuldades no procedimento experimental e na metodologia que a utilização de equipamentos menos comuns exige. Sendo avaliada, ainda, a melhor ou pior adaptabilidade das diferentes particularidades, introduzidas em textos normativos, a diferentes materiais a ensaiar ou em diferentes condições de ensaio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais e sistemas construtivos, caracterização, normas, procedimento experimental, dificuldades e particularidades.





## ABSTRACT

There is a large set of standards applicable to the Construction sector that seeks to establish experimental procedures for determining properties of materials, assess performance and characterize components and systems or assess the building as a whole. However, while such regulation is vast, it has not had the necessary application in Civil Engineering.

The laboratory tests and *in situ*, governed by the corresponding standardization, enable, among other things, the attainment of data for numerical simulations and the characterization of the properties of materials and building systems as well as the evaluation and definition of their performance.

In this study, one proceeds to a selection of properties and behaviour of materials, and components or building systems whose knowledge becomes essential for their application. Also, to each property or behaviour, one associates the definition, simbology, method of determination and normative references.

From several tests available in the Laboratory of Physics of Constructions (LFC) of the Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP), a set was selected destined to implement the principle above-mentioned. These tests are: the pull-off test, collision of a hard corp, liquid permeability and thermal conductivity in wet state.

The purpose of laboratory testing and *in situ* is to understand each test, the infrastructure necessary for its execution, procedures, limitations, scope and particularities introduced by the different standardization texts. Thus, before carrying out any of the tests, a bibliographical consultation is made, analyzing, particularly, the standards that govern the implementation of the tests, as well as the analysis and quantification of expected results on the occasion of the tests' application to various materials.

The main objective of the tests is not only the attainment of results, but the assessment of the difficulties in the procedure and methodology that the use of less common equipment requires. The best or worst adaptability of various particularities, introduced in standards, in different materials to analyze or in different test conditions, will equally be assessed.

**KEYWORDS:** building materials and systems, characterization, standards, experimental procedure, difficulties and particularities.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
 <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS .....	2
1.3. ESTRUTURA .....	3
 <b>2. NORMALIZAÇÃO DE ENSAIOS</b> .....	5
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	5
2.2. NORMALIZAÇÃO EXISTENTE .....	6
2.3. ENSAIOS LABORATORIAIS E <i>IN SITU</i> .....	7
2.4. CATALOGO DE PROPRIEDADES E NORMAS REFERENTES A MATERIAIS E SISTEMAS CONTRUTIVOS .....	9
 <b>3. INFRA-ESTRUTURA EXPERIMENTAL</b> .....	21
3.1. INTRODUÇÃO .....	21
3.2. PROJETOS .....	21
3.2.1. PAREDE A .....	21
3.2.2. PAREDE B .....	23
3.2.3. PAREDE C .....	24
3.2.4. ESPUMA DE POLIURETANO .....	26
3.2.5. ARGAMASSA PARA REBOCO COM INERTES DE CORTIÇA .....	27
3.3. APARELHOS PARA ENSAIOS MECÂNICOS .....	28
3.3.1. ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO .....	28
3.3.2. ENSAIO DE CHOQUE DE ESFERA .....	30
3.4. APARELHOS PARA ENSAIOS HIGROTÉRMICOS .....	32
3.4.1. ENSAIO DE PERMEABILIDADE LÍQUIDA .....	32
3.4.2. ENSAIO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA – DIFERENTES TEORES DE HUMIDADE .....	33

<b>4. ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO</b>	37
<b>4.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO</b>	37
<b>4.2. NORMAS DE ENSAIO</b>	39
4.2.1. ASTM D 4541-02	39
4.2.2. EN 1015-12	40
4.2.3. RECOMENDAÇÃO RILEM MDT.D.3	41
4.2.4. ETAG 004	41
4.2.5. EN 1346	42
4.2.6. EN 13495	42
<b>4.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL</b>	43
<b>4.4. DIFICULDADES DO ENSAIO</b>	48
<b>4.5. RESULTADOS</b>	50
4.5.1. NORMAS DE ENSAIO	50
4.5.1.1. ASTM D 4541-02	50
4.5.1.2. EN 1015-12 e Recomendação RILEM MDT.D.3	51
4.5.1.3. ETAG 004	52
4.5.1.4. EN 1346	52
4.5.1.5. NP EN 12004	52
4.5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	53
4.5.2.1. Parede A	53
4.5.2.2. Parede B	59
4.5.2.3. Parede C	65
4.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	69
<b>5. ENSAIO DE CHOQUE DE ESFERA</b>	75
<b>5.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO</b>	75
<b>5.2. NORMAS DE ENSAIO</b>	77
5.2.1. EN 13497	77
5.2.2. ISO 7892	78
5.2.3. LNEC FE PA 25	78
5.2.4. ETAG 004	78
<b>5.3. PROCEDIMENTO DE EXPERIMENTAL</b>	79
<b>5.4. DIFICULDADES DO ENSAIO</b>	80

<b>5.5. RESULTADOS</b>	80
5.5.1. NORMAS DE ENSAIO	80
5.5.1.1. EN 13497 e ISO 7892	81
5.5.1.2. LNEC FE Pa 25	81
5.5.1.3. ETAG 004	81
5.5.1.4. Outras indicações técnicas	81
5.5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	82
5.5.2.1. Parede A	82
5.5.2.2. Parede B	83
5.5.2.3. Parede C	84
5.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	85
 <b>6. ENSAIO DE PERMEABILIDADE LÍQUIDA</b>	 87
6.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO	87
6.2. NORMAS DE ENSAIO	89
6.3. PROCEDIMENTO DE EXPERIMENTAL	89
6.4. DIFICULDADES DO ENSAIO	91
6.5. RESULTADOS	93
6.5.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	94
6.5.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	95
 <b>7. ENSAIO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA – DIFERENTES TEORES DE HUMIDADE</b>	 97
7.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO	97
7.2. NORMAS DE ENSAIO	99
7.2.1. EN 993-14 e EN 993-15	99
7.2.2. MANUAL DE FUNCIONAMENTO CT-MÈTRE	99
7.3. PROCEDIMENTO DE EXPERIMENTAL	102
7.4. DIFICULDADES DO ENSAIO	106
7.5. RESULTADOS	106
7.5.1. NORMAS DE ENSAIO	107
7.5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	107
7.5.2.1. Espuma de poliuretano	107

7.5.2.2.Argamassa para reboco com inertes de cortiça.....	108
---	-----

7.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	108
--	-----

<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>111</b>
---------------------------	------------

<b>8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>111</b>
---------------------------------------	------------

<b>8.2. CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>111</b>
-------------------------------------	------------

<b>8.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>112</b>
--	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Enquadramento normativo (Freitas <i>et al.</i> , 2006) .....	7
Fig. 3.1 - Provete durante a construção (Adaptado de Machado <i>et al.</i> , 2008) .....	22
Fig. 3.2 - Corte na parede A e parede A nas condições em que se encontrava antes de intervenções no âmbito deste trabalho, respectivamente .....	22
Fig. 3.3 - Esquema demonstrativo da constituição do provete (Parede A em corte e planta). ....	23
Fig. 3.4 - Corte na parede B .....	23
Fig. 3.5 - Esquema demonstrativo da constituição do provete (Parede B em corte e planta) .....	24
Fig. 3.6 - Provete construído sobre acessório móvel ligado a câmara visitável .....	25
Fig. 3.7 - Esquema demonstrativo da constituição do provete (Parede C1 em corte e planta). ....	26
Fig. 3.8 - Provetes de espuma de poliuretano (Freitas <i>et al.</i> , 2009a).....	27
Fig. 3.9 - Espuma de poliuretano .....	27
Fig. 3.10 - Provetes de argamassa para reboco com inertes de cortiça (Freitas <i>et al.</i> , 2009b) .....	28
Fig. 3.11 - Provete de argamassa para reboco com inertes de cortiça .....	28
Fig. 3.12 - Motor redutor, dinamómetro e respectiva bateria.....	29
Fig. 3.13 - Pastilhas circulares e quadrangulares .....	29
Fig. 3.14 - Cola à base de resina epoxy .....	30
Fig. 3.15 - Rebarbadora, carotadora e molde auxiliar de pré-corte .....	30
Fig. 3.16 - Representação do aparelho de Martinet Baronnies e acessórios (Machado <i>et al.</i> , 2008) ....	31
Fig. 3.17 - Aparelho de Martinet Baronnies. ....	31
Fig. 3.18 - Grafite.....	32
Fig. 3.19 - Aparelho <i>ELE - Internactional</i> 35-40-45.....	33
Fig. 3.20 - <i>Mastique</i> e pistola para aplicação do mesmo.....	33
Fig. 3.21 - Portátil <i>CT-Mètre</i> e sonda <i>Fil</i> , respectivamente .....	34
Fig. 3.22 - Câmara climática <i>Fitoclima 3600 EDTU</i> com temperatura e HR controladas.....	35
Fig. 3.23 - Balança digital .....	35
Fig. 3.24 - Película Aderente.....	36
Fig. 3.25 – Estufa <i>WTB binder</i> para secagem dos provetes .....	36
Fig. 4.1 - Equipamentos de ensaio de aderência do tipo I a V, respectivamente (Adaptado de ASTM D 4541 – 02:2007). ....	40
Fig. 4.2 - Anel circular de pré-corte aplicado a argamassa frescas (EN 1015 – 12:2000) .....	41
Fig. 4.3 - Exemplo de aparelho de teste e amostra para o teste estático de bloco de espuma (EN 13495:2002) .....	43

Fig. 4.4 - Marcação das posições dos ensaios na parede A.....	44
Fig. 4.5 - Pré-cortes circulares .....	45
Fig. 4.6 - Pré-cortes quadrangulares.....	45
Fig. 4.7 - Aplicação de cola nas pastilhas .....	46
Fig. 4.8 - Pastilhas fixas nos provetes.....	46
Fig. 4.9 - Acoplagem do motor-redutor e dinamómetro .....	47
Fig. 4.10 - Limpeza das pastilhas metálicas.....	47
Fig. 4.11 - Pastilha fixada incorrectamente .....	48
Fig. 4.12 - Antiga e nova posição da pastilha A'' <sub>10</sub> .....	49
Fig. 4.13 - Marcas deixadas no paramento pelos ensaios feitos antes do período de cura da cola ....	49
Fig. 4.14 - Problemas da cortiça da parede A .....	50
Fig. 4.15 - Padrões de rotura (Adaptado de EN 1015-12:2000) .....	51
Fig. 4.16 - Padrões de rotura (Adaptado de NP EN 12004:2008) .....	53
Fig. 4.17 - Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares (A <sub>1</sub> a A <sub>6</sub> ).....	54
Fig. 4.18 - Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas quadrangulares (A' <sub>1</sub> a A' <sub>6</sub> ) ....	55
Fig. 4.19 - Amostras referentes aos ensaios sem pré-corte (A'' <sub>1</sub> a A'' <sub>6</sub> ) .....	57
Fig. 4.20 - Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares (A <sub>7</sub> a A <sub>12</sub> ) .....	60
Fig. 4.21 - Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas quadrangulares (A' <sub>7</sub> a A' <sub>12</sub> ) ...	62
Fig. 4.22 - Amostras referentes aos ensaios sem pré-corte (A'' <sub>7</sub> a A'' <sub>12</sub> ).....	64
Fig. 4.23 - Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares (A <sub>13</sub> a A <sub>17</sub> ) .....	66
Fig. 4.24 - Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas quadrangulares (A' <sub>13</sub> a A' <sub>17</sub> )..	68
Fig. 4.25 - Distribuição de tensões para corpos de prova com diferentes geometrias e dimensões (Carasek <i>et al.</i> , 2007) .....	70
Fig. 4.26 - Tensão média de rotura para os diferentes ensaios realizados sobre a parede A e respectivo desvio padrão.....	72
Fig. 4.27 - Tensão média de rotura para os diferentes ensaios realizados sobre a parede B e respectivo desvio padrão.....	72
Fig. 4.28 - Tensão média de rotura para os diferentes ensaios realizados sobre a parede C1 e respectivo desvio padrão.....	73
Fig. 4.29 - Desvio padrão para as diferentes particularidades de ensaio e diferentes provetes ensaiados .....	73
Fig. 5.1 - Diferente posicionamento dos revestimentos em função do grau de exposição ao choque.	76
Fig. 5.2 - Pilar da FEUP com isolamento térmico à vista devido a impacto de corpo rígido .....	76
Fig. 5.3 - Equipamento de determinação da resistência ao choque (EN 13497: 2002) .....	77



Fig. 5.4 - Exemplo de um aparelho de teste para a resistência ao impacto de acordo com a ISO 7892 (EN 13497:2002) .....	78
Fig. 5.5 - Posicionamento do <i>Martinet Baronniet</i> na horizontal e contra a parede .....	79
Fig. 5.6 - Impacto do corpo rígido no provete após o pêndulo ser largado .....	80
Fig. 5.7 - Degradações provocadas na parede A pelo impacto de corpo rígido (esfera) .....	82
Fig. 5.8 - Degradações provocadas na parede B pelo impacto de corpo rígido (esfera) .....	83
Fig. 5.9 - Degradações provocadas na parede C1 pelo impacto de corpo rígido (esfera) .....	84
Fig. 6.1 - Equipamentos de determinação da permeabilidade líquida ( <i>in</i> página Web do LFC). .....	88
Fig. 6.2 - Tubos de Karsten (Tavares, 2007) .....	89
Fig. 6.3 - Aplicação de <i>mastique</i> na plataforma do equipamento de permeabilidade líquida .....	90
Fig. 6.4 - Peso de 10 kg devidamente colocado .....	90
Fig. 6.5 - Enchimento da plataforma do aparelho de permeabilidade líquida .....	91
Fig. 6.6 - Selagem de locais críticos .....	92
Fig. 6.7 - Tubo de <i>Mariotte</i> (entrada de água) e tubo de saída de ar .....	93
Fig. 6.8 - Resultados qualitativos do ensaio de permeabilidade líquida P2.....	95
Fig. 6.9 - Representação gráfica dos volumes absorvidos e dos fluxos acumulados de água, respectivamente (Adaptado de Freitas <i>et al.</i> , 2001). .....	96
Fig. 7.1 - Portátil <i>CT-Mètre</i> e <i>Holometrix GHP-300</i> , respectivamente.....	98
Fig. 7.2 - Portátil <i>CT-Mètre</i> (Rosenbom, 1993).....	100
Fig. 7.3 - Três modelos de sondas para o portátil <i>CT-Mètre</i> (Adaptado de LFC, 2009) .....	101
Fig. 7.4 - Sonda <i>Monotige</i> .....	101
Fig. 7.5 - Ecrã de programação da câmara climática e provetes a ensaiar dentro da mesma, respectivamente .....	103
Fig. 7.6 - Ensaio sobre produto de calibração do <i>Holometrix GHP-300</i> .....	103
Fig. 7.7 - Ensaio sobre provetes de espuma de poliuretano .....	104
Fig. 7.8 - Ensaio sobre provetes de argamassa para reboco com inertes de cortiça.....	105
Fig. 7.9 - Secagem dos provetes até massa constante .....	106
Fig. 7.10 - Face do provete de argamassa com inertes de cortiça com camada de regularização danificada .....	109



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Definição de propriedades e comportamentos de materiais e sistemas construtivos.....	9
Quadro 3.1 - Caracterização do portátil <i>CT-Mètre</i> .....	34
Quadro 4.1 - Valores de referência para a tensão de aderência.....	52
Quadro 4.2 - Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares .....	53
Quadro 4.3 - Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.....	55
Quadro 4.4 - Resultados dos ensaios de arrancamento sem pré-corte .....	56
Quadro 4.5 - Tipo de rotura dos ensaios sem pré-corte na parede A .....	58
Quadro 4.6 - Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares .....	59
Quadro 4.7 - Tratamento dos resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares .....	61
Quadro 4.8 - Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.....	61
Quadro 4.9 - Tratamento dos resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.....	62
Quadro 4.10 - Resultados dos ensaios de arrancamento sem pré-corte .....	63
Quadro 4.11 - Padrão de rotura dos ensaios sem pré-corte realizados na parede B .....	65
Quadro 4.12 - Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares .....	65
Quadro 4.13 - Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares..	67
Quadro 4.14 - Tensão média de rotura vs tensão recomendada .....	69
Quadro 4.15 - Tensão de rotura dos vários provetes ensaiados e respectivos desvio padrão.....	70
Quadro 4.16 - Coeficiente de variação. ....	74
Quadro 5.1 - Critérios de classificação do ETICS quanto à resistência ao choque .....	81
Quadro 5.2 - Resultados dos ensaios de choque de esfera sobre a parede A .....	83
Quadro 5.3 - Resultados dos ensaios de choque de esfera sobre a parede B .....	84
Quadro 5.4 - Resultados dos ensaios de choque de esfera sobre a parede C1 .....	85
Quadro 5.5 - Categorização dos dois tipos de ETICS ensaiados.....	85
Quadro 6.1 - Volumes absorvidos no ensaio de permeabilidade líquida P1 .....	94
Quadro 7.1 - Dimensões mínimas dos provetes.....	102
Quadro 7.2 - Limites para alguns parâmetros de cálculo. ....	102
Quadro 7.3 - Valores utilizados nos parâmetros de cálculo do equipamento .....	104
Quadro 7.4 - Valores da condutibilidade para provetes de poliuretano com 50% de HR. ....	107
Quadro 7.5 - Valores da condutibilidade para provetes de poliuretano com 90% de HR .....	107
Quadro 7.6 - Valores da condutibilidade para provetes de poliuretano com 1302,4% de w.....	107

Quadro 7.7 - Valores da condutibilidade para provetes de argamassa com inertes de cortiça com 50% de HR.....	108
Quadro 7.8 - Valores da condutibilidade para provetes de argamassa com inertes de cortiça com 90% de HR.....	108
Quadro 7.9 - Valores da condutibilidade para provetes de argamassa com inertes de cortiça com 13,8 % de w .....	108
Quadro 7.10 - Valores médios da condutibilidade térmica para 50% de HR determinados com o <i>CT-Mètre</i> e o <i>Holometrix GHP-300</i> .....	109
Quadro 7.11 - Valores médios da condutibilidade térmica para diferentes HR ou w .....	110

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ASTM - Standards Worldwide

CE - Conformidade Europeia (Conformité Européenne)

CEN - European Committee for Standardization

CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

EN - Normas Europeias (Standards Européenne)

EPS - Poliestireno Extrudido Moldado

ETAG - European Technical Approvals Guidelines

ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems with rendering

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

ISO - International Organization for Standardization

LFC - Laboratório de Física das Construções

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NMR - Método da Ressonância Magnética

RC - Revestimento Cimentício

RILEM - International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

RPE - Revestimento Plástico Espesso

$g$  - Aceleração da Gravidade [ $m/s^2$ ]

$h$  - Altura de Queda do Corpo Rígido [ $m$ ]

$A$  - Área ou Área de Rotura [ $m^2$ ]

$c_p$  - Calor Específico [ $J/(kg.K)$  ou  $J/(kg.^{\circ}C)$ ]

$C$  - Coeficiente de Capilaridade [ $kg/(m^2.s^{1/2})$ ]

$D_w$  - Coeficiente de Difusão Hídrica [ $m^2/s$ ]

$\alpha_l$  - Coeficiente de Dilatação Térmica Linear [ $K^{-1}$  ou  $^{\circ}C^{-1}$ ]

$K$  - Condutibilidade Líquida

$\lambda$  - Condutibilidade Térmica [ $W/(m.^{\circ}C)$ ]

$\lambda(w)$  - Condutibilidade Térmica do Material Húmido [ $W/(m.^{\circ}C)$ ]

$\lambda_s$  - Condutibilidade Térmica do Material Seco [ $W/(m.^{\circ}C)$ ]

$\delta p$  - Desvio Padrão [MPa]

$d$  - Diâmetro Equivalente [ $m$ ]

E - Emissividade

$E_{imp}$  - Energia de Impacto [J]

$E_p$  - Energia Potencial [J]

e - Espessura [m]

$\alpha_a$  - Factor de Absorção [%]

F - Força [N]

HR - Humidade Relativa [%]

L - Volume de Água Absorvido [ $m^3/s$ ]

m - Massa [kg]

$m_l$  - Massa de Água [kg]

$m_h$  - Massa do Material em Estado Húmido [kg]

$m_s$  - Massa do Material em Estado Seco [kg]

$\rho_a$  - Massa Volúmica Global [ $kg/m^3$ ]

$\rho_s$  - Massa Volúmica do Material Seco [ $kg/m^3$ ]

$k_a$  - Permeabilidade ao Ar [ $kg/(m.Pa.s)$ ]

q - Permeabilidade Líquida [ $kg/(m^2.s)$ ]

$\delta_p$  - Permeabilidade ao Vapor de Água [ $kg/(m.s.Pa)$ ]

$K_a$  - Permeância [ $m^3/(m^2.s.Pa)$  ou  $kg/(m^2.Pa.s)$ ]

$\varepsilon_a$  - Porosidade Aberta [% ou  $m^3/m^3$ ]

$\varepsilon$  - Porosidade Aparente [% ou  $m^3/m^3$ ]

$\varepsilon_c$  - Porosidade Fechada [% ou  $m^3/m^3$ ]

w - Teor de Humidade Mássico [kg/kg]

u - Teor de Humidade em Massa por Unidade de Volume [ $kg/m^3$ ]

$\theta$  - Teor de Humidade Volúmico [ $m^3/m^3$ ]

$w_{cr}$  - Teor de Humidade Crítico [kg/kg]

$w_h$  - Teor de Humidade Higroscópico [kg/kg]

$w_{máx}$  - Teor de Humidade Máximo [kg/kg]

$w_{sat}$  - Teor de Humidade de Saturação [kg/kg]

T - Temperatura [ $^{\circ}C$ ]

t - Tempo [s]

X - Tensão de Rotura [MPa]

$f_u$  - Resistência de Aderência [MPa]

$\mu$  - Resistência à Difusão do Vapor de Água

R - Resistência Térmica [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

b - Suplemento da Condutibilidade Térmica [ $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ]

$\lambda_D$  - Valor Declarado para a Condutibilidade Térmica [ $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ]

$R_D$  - Valor Declarado para a Resistência Térmica [ $\text{m} \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$\alpha_h$  - Variação Dimensional com a Humidade Relativa [m ou %]

$V_s$  - Volume Aparente do Material no Estado Seco [ $\text{m}^3$ ]

$V_l$  - Volume de Água Contida pelo Material [ $\text{m}^3$ ]





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Sendo o ser humano um ser que vive em comunidade, o seu comportamento é gerido por um conjunto de regras que lhe atribuem um conjunto de direitos e deveres. A este conjunto de regras, num âmbito geral, chama-se leis. O respeito de todas as leis permite que todos os indivíduos socializem sem conflito. O mesmo se verifica na grande sociedade que é uma edificação. Se todos os seus constituintes obedecem a um determinado conjunto de requisitos, definido no acto da projecção, a durabilidade do edifício, bem como a sua adequabilidade ao uso, estão garantidos. Por durabilidade entende-se a capacidade de manter o edifício ou parte dele em serviço durante um determinado período de tempo (Matos, 2007).

Quando o edifício apresenta anomalias que influenciam o seu comportamento em serviço diz-se que este apresenta patologias. Vulgarmente a designação “patologia”, bem como o seu estudo, estão associados à medicina. Contudo, ao analisar o conceito de patologia clínica, ou seja, a especialidade médica que tem por objectivo auxiliar no diagnóstico e acompanhamento clínico de estados de saúde e doença, através de análises; pode-se fazer uma analogia com o que se verifica na construção civil. A patologia na construção é o ramo da engenharia que estuda os sintomas, formas de manifestação, origens e causas das doenças ou defeitos que ocorrem nas edificações (Antoniazzi, 2008) recorrendo a ensaios laboratoriais ou *in situ*.

Nos primórdios da civilização as patologias eram evitadas por leis com carácter intimidatório. Estas leis eram o reflexo das preocupações da sociedade com o desempenho das obras construídas e denominavam-se *Código de Hammurabi*<sup>1</sup>. Tratavam-se de regras básicas para a punição dos responsáveis, caso algum tipo de colapso na estrutura viesse a acontecer, o que reflecte o conceito de responsabilidade inerente à patologia da construção. Essas punições tinham como extremo a morte do construtor ou do seu filho para compensar as vidas tiradas do dono da casa ou do filho com quedas da construção ou partes da mesma (Sousa, 2004).

Actualmente as patologias são evitadas num dos seus principais focos: má concepção, deficiente execução ou “envelhecimento” dos materiais e componentes. Assim, pode-se dizer que as patologias são evitadas com o cumprimento de um conjunto de regras: regras que regem a concepção, regras que regem a execução e regras que regem a manutenção para evitar o “envelhecimento” acelerado dos materiais e componentes.

---

<sup>1</sup> Hammurabi foi o sexto rei da Babilónia, de 1792 a.C. a 1750 a.C. Este rei é conhecido pelo conjunto de leis chamado de *Código de Hammurabi*, um dos primeiros códigos da lei registados na história.

Aos materiais e aos componentes e sistemas construtivos são feitas exigências para garantir o seu desempenho. Deste modo, para que um material seja escolhido para aplicação devem ser conhecidas as suas propriedades, e para que um sistema ou componente seja seleccionado como solução construtiva deve ser conhecido o seu comportamento face a todas as solicitações, sejam elas de carácter higrótérmico, mecânico, acústico, de segurança contra incêndios, etc.

Deve existir, contudo, uma relação dialéctica entre as exigências feitas a materiais, componentes e sistemas construtivos e o âmbito de aplicação dos mesmos, tal como existe entre a sociedade e as leis.

O deficiente conhecimento de propriedades dos materiais por parte do projectista e a falta de domínio da correcta forma de aplicação dos materiais por parte dos directores de obra, principalmente tratando-se de novos materiais no mercado, estão na origem de numerosas patologias (Freitas *et al.*, 2006). O mesmo acontece com componentes e sistemas construtivos.

Para caracterização de materiais, componentes e sistemas construtivos deve-se recorrer a ensaios laboratoriais e *in situ*. Ensaios esses regidos pelas ditas regras, neste caso denominadas de normas, e que podem ser utilizados previamente, isto é, antes da aplicação, para conhecimento antecipado, ou depois da aplicação como técnica de manutenção ou de conhecimento aprofundado de aparentes patologias.

Em ensaios regidos por um número elevado de textos normativos, cada norma introduz particularidades ao procedimento de ensaio e ao método de análise e tratamento de resultados. Assim surgem, muitas vezes, parâmetros divergentes ou pouco especificados nas diferentes normas. Por sua vez, em ensaios menos comuns e, por isso, com um número inferior de normas a incidir sobre os mesmos, surgem parâmetros, procedimentos e métodos de análise e tratamento de resultados pouco especificados ou mesmo não definidos.

Embora a normalização e os domínios que abrange sejam vastos, a ausência da necessária aplicação na Engenharia Civil e a introdução de materiais e sistemas construtivos inovadores faz com que não seja conhecida a real adequabilidade de cada norma a cada tipo de provete, a cada tipo de equipamento utilizado no ensaio ou a cada conjunto de condições de ensaio.

## 1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS

Com a finalidade de conhecer os diferentes textos normativos que regem alguns ensaios, analisar particularidades introduzidas por cada um deles, combater dificuldades que surgem durante a prática do ensaio, desenvolver ensaios pouco realizados e estudar a adequabilidade do tipo de ensaio e particularidades a diferentes condições ou provetes, a presente dissertação leva a cabo um conjunto de ensaios laboratoriais e *in situ*. Assim, este trabalho pretende ser um contributo para que as normas passem a ter a necessária aplicação na Engenharia Civil, para o desenvolvimento de suporte escrito sobre o procedimento experimental que alguns equipamentos, de utilização menos comum, exigem e para a percepção da adequabilidade de particularidades de procedimento experimental a novos materiais e sistemas construtivos.

Para se atingir os objectivos principais, definiram-se objectivos parciais que os compõem:

- Definir o tipo de normalização existente e principais entidades produtoras e gestoras da mesma. Seleccionar as principais propriedades e comportamentos dos materiais e sistemas construtivos associando-lhes referências bibliográficas de carácter normativo ou, simplesmente, de carácter técnico (fichas de ensaio, por exemplo) que fornecessem indicações

- sobre procedimentos experimentais; análise, tratamento e interpretação de resultados e valores de referência para os parâmetros experimentalmente avaliados;
- Recolher informação acerca do estado actual do conhecimento referente a metodologias de ensaio para os ensaios seleccionados;
- Avaliar potencialidades dos ensaios e campo de aplicação;
- Aplicar diferentes particularidades, introduzidas por diferentes normas, a diferentes provetes, no procedimento experimental da determinação da mesma propriedade ou comportamento;
- Definir procedimentos experimentais para ensaios com recurso a equipamentos menos correntes;
- Recolher informação acerca do estado actual do conhecimento referente a parâmetros medidos pelos diferentes ensaios realizados, procurando valores de referência para interpretação de resultados;
- Proceder a uma análise dos resultados avaliando a adequabilidade de cada procedimento experimental usado aos diferentes provetes ensaiados;
- Comparar a potencialidade de diferentes equipamentos para determinação do mesmo parâmetro;
- Analisar o grau de confiança dos resultados obtidos procurando materiais ou procedimentos que conduzam a resultados menos fiáveis, e que portanto devam ser evitados;
- Detectar limitações à aplicação do ensaio e dificuldades à interpretação dos resultados.

### 1.3. ESTRUTURA

De modo a contribuir para os objectivos estabelecidos e em função da infra-estrutura disponível no Laboratório de Física da Construções (LFC) foram seleccionados quatro ensaios: arrancamento por tracção, choque de esfera, permeabilidade líquida e condutibilidade térmica para diferentes teores de humidade. Assim, também esta dissertação se encontra estruturada em função desses quatro tipos de ensaios realizados e apresenta oito capítulos:

- No presente capítulo, Capítulo 1 – INTRODUÇÃO, faz-se uma breve introdução do tema, enquadrando a importância das normas, dos ensaios laboratoriais e *in situ*, e da interligação dos dois. Descrevem-se os interesses fundamentais e apresentam-se os principais objectivos a atingir com o estudo realizado;
- No Capítulo 2 – NORMALIZAÇÃO DE ENSAIO, de carácter essencialmente teórico, faz-se uma pequena abordagem ao tipo de normalização existente e às principais entidades produtoras e gestoras de normas. É ainda salientada a importância da caracterização dos materiais e sistemas construtivos através de ensaios laboratoriais e *in situ*, em distintas fases. Faz-se ainda uma ligação entre essa caracterização e as normas com a apresentação de um quadro onde figuram propriedades e comportamentos, definições, simbologia e referências bibliográficas de carácter normativo e/ou técnico;
- No Capítulo 3 – INFRA-ESTRUTURA EXPERIMENTAL, descrevem-se todos os meios utilizados para efectuar a campanha experimental;
- No Capítulo 4 – ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO, de carácter experimental, descreve-se o primeiro estudo desenvolvido em laboratório, relativo à determinação da aderência. São referidas referências bibliográficas que introduzam “novidades” no procedimento experimental e é descrito o procedimento de ensaio adoptado bem como as dificuldades que a utilização desse procedimento apresenta. Apresentam-se, ainda, referências bibliográficas que regem o tratamento e interpretação dos resultados, sendo estes tratados e retiradas algumas conclusões. Neste capítulo faz-se o cruzamento das várias

variáveis em estudo com vista à identificação de padrões de comportamento do ensaio que possam conduzir à identificação de limitações na sua aplicação;

- No Capítulo 5 – ENSAIO DE CHOQUE DE ESFERA, o segundo de carácter experimental, descreve-se o estudo experimental relativo à resistência ao choque de corpo duro não cortante. Aqui, a estrutura do texto é semelhante à seguida no capítulo 4 e em todos os capítulos de carácter experimental;
- No Capítulo 6 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE LÍQUIDA, o terceiro de carácter experimental, descreve-se o estudo experimental relativo à permeabilidade líquida. Sendo a estrutura semelhante à dos outros capítulos de carácter experimental. Neste capítulo pretende-se a definição do procedimento de ensaio que o equipamento, de utilização menos comum, pressupõe;
- No Capítulo 7 – ENSAIO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA – DIFERENTES TEORES DE HUMIDADE, o quarto e último de carácter experimental, descreve-se o estudo experimental relativo à condutibilidade térmica com diferentes teores de humidade, sendo a estrutura semelhante à dos outros capítulos de carácter experimental. Neste capítulo são comparadas as potencialidades de dois equipamentos para determinação da mesma propriedade dos materiais de construção em diferentes condições de ensaio;
- No Capítulo 8 – CONCLUSÕES, sintetizam-se os resultados dos estudos experimentais realizados e apresentam-se as conclusões finais da dissertação.

# 2

## NORMALIZAÇÃO DE ENSAIOS

### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Se até algumas décadas atrás a viabilidade das soluções construtivas era garantida pelo seu cariz tradicional e experiência (Corvacho, 2000), actualmente, com as alterações das regras, ideias, conceitos e exigências a satisfazer, as soluções construtivas passam a ser dimensionadas de modo a garantir conforto higrotérmico e durabilidade (Freitas *et al.*, 2006).

Ao longo das últimas décadas têm vindo a ser introduzidos novos materiais no mercado da construção, têm passado a existir crescentes preocupações com a racionalização de custos, com a mudança de estratégia construtiva (optando-se pela reabilitação em prol da demolição), com as crescentes exigências ao nível da relação preço/durabilidade e com a diminuição dos gastos energéticos. Assim, as soluções construtivas procuram ser inovadoras e, além das suas tradicionais funções, buscam cumprir exigências de carácter térmico, acústico, de segurança contra incêndios e, ainda, financeiro. Com a crescente complexidade na construção, a projecção das soluções passa a exigir uma correcta interligação entre Física e Tecnologia das Construções de modo a que ocorra uma compatibilização das múltiplas exigências.

Com a falta de conhecimento das reais propriedades e comportamentos dos novos materiais introduzidos no mercado da construção, com a falta de domínio das suas formas de aplicação e com a dificuldade de compatibilização das inúmeras exigências enumeradas anteriormente ou, simplesmente, com a falta de desenhos de pormenor a escala conveniente; verifica-se que muitos dos edifícios existentes não apresentam a qualidade, a durabilidade e o desempenho desejados e milhares de fogos, construídos recentemente em Portugal, apresentam graves patologias que condicionam a sua utilização (Sousa, 2004).

Segundo Barreira *et al.* (2009) a humidade é um dos factores que gera uma percentagem significativa das patologias existentes nos edifícios e, segundo a mesma autora (Barreira, 2004), uma outra grande parte das patologias associa-se à actuação da temperatura. Assim, só a satisfação de um conjunto de exigências de carácter higrotérmico permite um adequado comportamento por parte das envolventes dos edifícios (Freitas *et al.*, 2006) que se encontram expostas a agressivos ambientes. A título de exemplo, as paredes exteriores podem atingir amplitudes térmicas, ao longo do ano, da ordem dos 50°C (Freitas, 2002).

As exigências de carácter higrotérmico estão associadas a métodos de cálculo já disponíveis e ao conhecimento das propriedades dos materiais e componentes que podem ser determinadas via ensaios laboratoriais e/ou *in situ* descritos em normas existentes (Freitas *et al.*, 2006).

A selecção de soluções que garantam um determinado desempenho e possuam aptidão para dar resposta a um conjunto de exigências definidas em normas, regulamentos e especificações técnicas, é um caminho de diferentes níveis: materiais, componentes, sistemas construtivos e edifícios no seu conjunto.

## 2.2. NORMALIZAÇÃO EXISTENTE

A escolha de um material a implementar num sistema construtivo é função das condições climáticas e da humidade a que irá estar sujeito no seu período de vida (Lanzinha, 1998) e, deste modo, a sua caracterização exaustiva a nível de propriedades do material e desempenho dos componentes e sistemas nos quais os materiais se inserem, torna-se imprescindível para a sua possível selecção. Esta caracterização pressupõe o conhecimento e aplicação das várias normas nacionais e internacionais existentes.

Existe um vasto conjunto de organizações que asseguram um número, também ele vasto, de normas. Contudo, do grupo destacam-se a *International Organization for Standardization* (ISO) e o *European Committee for Standardization* (CEN) que asseguram a normalização no âmbito do comportamento higrótérmico e a *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

A ISO é o maior colaborador e editor do mundo de normalização internacional. É uma rede de institutos nacionais de normas de 163 países com secretariado central em Genebra, na Suíça.

As normas ISO têm como objectivos:

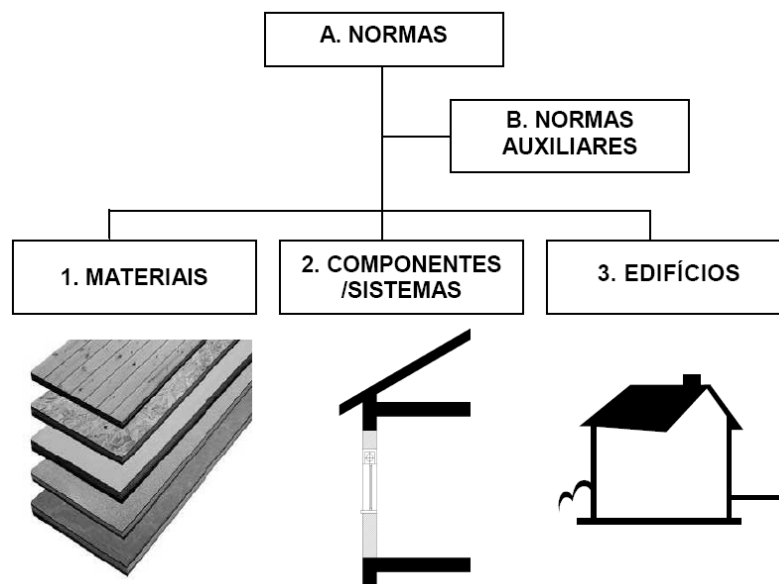
- Proporcionar o desenvolvimento, fabricação e fornecimento de produtos e serviços mais eficientes, seguros e menos poluentes;
- Facilitar o comércio entre os países e torna-lo mais justo;
- Proporcionar, aos governos, uma base técnica para a saúde, segurança e legislação ambiental, de modo a avaliar a conformidade;
- Promover avanços tecnológicos e boas práticas de gestão;
- Difundir a inovação;
- Proteger os consumidores e usuários em geral, dos produtos e serviços;
- Fornece soluções para problemas comuns.

O CEN é uma organização sem fins lucrativos cuja missão é promover a economia europeia no comércio global, o bem-estar dos cidadãos europeus e o ambiente, fornecendo uma infra-estrutura eficiente para o desenvolvimento, manutenção e distribuição de conjuntos coerentes de normas e especificações. Assim, desenvolve normas europeias (EN) para vários e distintos sectores com o apoio de 30 membros nacionais.

Quando aprovadas, as normas CEN passam a normas portuguesas. A tradução dessas normas, bem como a sua difusão encontra-se a cargo do Instituto da Qualidade.

Por sua vez, a ASTM é uma das maiores organizações voluntárias, fonte confiável de normas técnicas de materiais, produtos, sistemas e serviços. As normas desta autoria são desenvolvidas por técnicos que representam produtores, usuários, consumidores, governo e universidades de mais de 120 países do mundo.

Toda a normalização existente organiza-se segundo diferentes temas e necessidades. Assim encontra-se normalização referente a materiais, componentes e edifícios.

Fig.2.1 – Enquadramento normativo (Freitas *et al.*, 2006).

As normas referentes a materiais de construção estabelecem metodologias de determinação de propriedades dos materiais, dão indicações sobre o tratamento de resultados experimentais e/ou indicam valores de referência para as mesmas propriedades. Por sua vez, as normas referentes a componentes ou sistemas construtivos avaliam parâmetros caracterizadores dos componentes ou sistemas bem como o seu desempenho, e são utilizadas quando a avaliação dos materiais isoladamente é insuficiente. Por fim, as normas referentes a edifícios permitem uma avaliação global do desempenho do edifício, avaliando o comportamento dos materiais, componente e sistemas face às solicitações, encarando o edifício como um todo e o objectivo da projecção.

### 2.3. ENSAIOS LABORATORIAIS E *IN SITU*

Quando a patologia se verifica a solução passa pela intervenção de modo a “remediar”, utilizando como meios de diagnóstico: visitas ao interior e exterior dos edifícios, levantamento fotográfico do edifício e suas patologias e medidas *in situ* ou em laboratório. Sendo definida a estratégia de intervenção em função dos resultados. Contudo, a utilização de “medidas preventivas e não curativas” podem levar a uma redução drástica dos custos de reparação. Assim, uma medida preventiva é o conhecimento prévio das propriedades e comportamentos dos materiais e componentes ou sistemas construtivos. A determinação dessas propriedades e comportamentos envolve a realização de ensaios, sobretudo ensaios laboratoriais, que respeitam, a nível de procedimento experimental, a normalização existente, aliás, como referido no capítulo 2.2. Normalização essa que embora seja vasta não tem tido a necessária aplicação na Engenharia Civil (Freitas *et al.*, 2006).

Os ensaios laboratoriais e *in situ* permitem avaliar as exigências funcionais impostas aos edifícios, bem como a todas as partes que o compõem. Essas exigências visam assegurar a satisfação das necessidades dos utilizadores. A Directiva dos Produtos de Construção estabelece seis exigências para os produtos, materiais e sistemas a utilizar na construção de edifícios, sendo elas: estabilidade; segurança contra o risco de incêndio, saúde e ambiente; segurança no uso; protecção contra o ruído e

economia de energia. Contudo, para que essas exigências façam sentido é necessário fazer duas outras exigências: durabilidade e adequabilidade ao uso (Veiga, 2005).

Embora as exigências essenciais sejam aplicáveis às paredes no seu conjunto, os revestimentos dão um contributo importante em cada caso. Para que a parede cumpra as exigências que lhe são impostas é exigido ao revestimento um conjunto de requisitos. Aos rebocos exteriores são feitas exigências como: higiene, saúde e ambiente e segurança no uso. Por sua vez, para que o reboco garanta essas exigências deve reunir requisitos dos quais os mais significativos são:

- Capacidade de impermeabilização e de protecção das paredes, o que implica:
  1. Capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada;
  2. Resistência à fendilhação;
  3. Resistência mecânica.
- Capacidade de promover, por evaporação, a expulsão da água infiltrada e do vapor de água formado no interior;
- Ausência de libertação de produtos tóxicos;
- Resistência ao desenvolvimento de fungos;
- Boa aderência ao suporte, para prevenir qualquer risco de queda de placas de revestimento.

É aqui que os ensaios laboratoriais e *in situ* podem entrar, na avaliação de todos estes requisitos que os revestimentos devem reunir, ou seja, para a avaliação do desempenho. Este tipo de ensaios deve respeitar a normalização referida no capítulo 2.2 referente a componentes e sistemas.

Os ensaios laboratoriais e *in situ* permitem, ainda, a determinação das propriedades dos materiais, devendo, neste caso, respeitadas a normalização referente a materiais. O conhecimento das propriedades dos materiais é fundamental, por exemplo, para simulações numéricas utilizando modelos em regime variável ou em regime permanente e levado a cabo em métodos de simulação como o WUFI<sup>2</sup> ou o Condensa 13788<sup>3</sup>. Estes dois métodos de simulação, com complexidade diferente, podem ser utilizados para simular, por exemplo, mecanismos de transporte em elementos construtivos. A opção de um ou outro método é função do detalhe com que se pretende abordar o problema. Assim, na utilização do WUFI 4.2. as propriedades higrotérmicas dos materiais necessárias à simulação referida são: massa volumica, porosidade, calor específico, condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor de água, coeficiente de absorção de água e a curva de armazenamento de humidade. Por sua vez, a utilização do Condensa 12788 exige o conhecimento apenas da condutibilidade térmica e o factor de resistência ao vapor de água (Barreira *et al*, 2009).

As propriedades dos materiais nas simulações correspondem a parte da informação necessária para o início do processo de cálculo. E dessa aplicação do método de cálculo obtêm-se resultados que permitem a avaliação do desempenho.

Alguns ensaios podem ser úteis, ainda, na manutenção periódica já que o desempenho é dependente também desta. A falta de manutenção faz com que as pequenas manifestações patológicas, que teriam baixo custo de reparação, evoluam para situações de desempenho insatisfatório com ambientes insalubres, de deficiente aspecto estético, de possível insegurança estrutural e de alto custo de recuperação.

---

<sup>2</sup> Um dos programas comerciais de análise higrotérmica em regime variável mais utilizados mundialmente.

<sup>3</sup> Programa desenvolvido em colaboração com o Laboratório de Física das Construções – FEUP, que segue o método de Glaser, fazendo análise em regime permanente.



## 2.4. CATÁLOGO DE PROPRIEDADES E NORMAS REFERENTES A MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A necessidade de catalogar as propriedades dos materiais e componentes ou sistemas construtivos é evidente (Lanzinha, 1998) mas torna-se imperativa a necessidade de associar a estas, bem como a comportamentos dos mesmos, a normalização referente.

O quadro 2.1 pretende apresentar uma listagem não exaustiva, ordenada alfabeticamente, de propriedades e comportamentos dos materiais e sistemas construtivos de maior relevância, bem como a sua definição, simbologia, unidade e normas possivelmente seguidas na sua determinação. As propriedades e comportamentos apresentados no quadro são as mais enumeradas em varias publicações sobre o assunto e têm carácter geral, térmico, hídrico e mecânico (a variação da resistência mecânica é um efeito das solicitações higrotérmicas). Desta forma, as referências bibliográficas são, além das normas referidas, Barreira (2009), Freitas (2008), Freitas *et al.* (2006), Lanzinha (1998), Vasconcelos (2010) e Mendonça (2005).

Quadro 2.1 – Definição de propriedades e comportamentos de materiais e sistemas construtivos.

Propriedade/ Comportamento	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Normalização/ Fichas de Ensaio
Absorção de Água por Imersão Total	Massa de água absorvida pelo provete estando este submerso durante um período de tempo definido na normalização correspondente.	-	Kg/m <sup>3</sup>	NP EN 12087
Calor Especifico	Quantidade de calor necessária para fazer variar de um grau a temperatura da unidade de massa de uma determinada substância. É, geralmente, determinado recorrendo ao método denominado por <i>Método das Misturas</i> que se baseia no "princípio da igualdade das trocas de calor".	c <sub>p</sub>	J/(kg.K)	ASTM C 315-92b

Coeficiente de Absorção de Água/Coeficiente de Capilaridade	A capilaridade é a capacidade que o material possui de absorver a água líquida, por sucção, quando em contacto com esta. Os coeficientes de absorção e de capilaridade representam a massa de água absorvida, por área do material em contacto com a mesma, devido à actuação das forças de sucção capilar.	$A_w$ C	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2})$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$	DIN 52617
				NP EN 1925
				EN ISO 15148
				EN 1015/18
				NF B 10-502
				NP EN 1609
				EN 1097-10
Coeficiente de Difusão Hídrica	<p>Parâmetro de ligação entre o gradiente médio do teor de humidade e o fluxo médio da humidade (líquida ou vapor) em regime isotérmico.</p> <p><i>O Método da Transformação de Boltzman e o Método dos Perfis</i> são as duas formas de determinação deste coeficiente.</p> <p>O conhecimento deste coeficiente tem especial interesse na utilização de modelos de previsão da transferência de humidade dos materiais durante os processos de embebição/secagem.</p>	$D_w$	$\text{m}^2/\text{s}$	-
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	<p>Variações das dimensões naturais sob o efeito das variações de temperatura. Alongamento do material, por unidade de comprimento, sob o efeito de uma subida de temperatura de 1 °K.</p> <p><i>O Método do Dilatómetro</i> é correntemente utilizado para determinação desta propriedade mas pode-se recorrer, ainda, aos</p>	$\alpha_l$	$\text{K}^{-1}$	ASTM E 289-95

	aparelhos de <i>Michelson</i> ou <i>Fizeau</i> .			
Comportamento após Humificação	Alteração ou não das características dum revestimento de parede na sequencia de uma humificação.	-	-	FE Pa30
Condutibilidade Liquida	Relaciona-se com o coeficiente de difusão hídrica e é altamente dependente da quantidade de água. Assim a sua determinação implica o conhecimento dos perfis de quantidade de água no material. Por sua vez, os perfis podem ser determinados através de diferentes técnicas experimentais ou por aproximações usando o coeficiente de absorção de água.	K	-	-
Condutibilidade Térmica	Fluxo de calor em Watts que atravessa, perpendicularmente, um elemento com 1 m <sup>2</sup> de secção e espessura de 1 m, quando a diferença de temperatura entre as duas faces é de 1 °C, sendo as faces planas e paralelas.  Os métodos mais utilizados na sua determinação são o do <i>Guarded-Hot-Plate</i> e o do <i>Choque Térmico</i> .	$\lambda$	W/(m.°C)	ISO 8302 NP 116 1962 NP 2254 CEN EN 12664 CEN EN 12667 CEN EN 1946-1 CEN EN 1946-2 CEN EN 12526 CEN 12939 ISO 10456 ISO 8301 EN 12939 EN 993-14 EN 993-15

					ISO 8894-1
					ISO 8894-2
					EN ISO 13787
					pr EN ISO 23993
Curvas de Armazenamento de Humidade (Absorção/Desabsorção)	Forma de analisar a higróscopidade de um material que relaciona o teor de humidade em equilíbrio de um material e a humidade relativa do ar em que se encontra, a determinada temperatura.  As curvas de Absorção e Desabsorção têm três fases: <b>monomolecular</b> , <b>plurimolécul</b> ar e de <b>condensação capilar</b> . Na primeira fase dá-se a fixação de uma camada de moléculas de água na superfície interior dos poros. Na segunda fase ocorre a deposição de várias camadas de moléculas no interior dos poros. Por fim, na terceira fase, sendo o diâmetro dos poros pequeno, dá-se a condensação capilar.  A determinação de curvas higroscópicas de materiais pode ser executada recorrendo a <i>Métodos Gravimétricos</i> .  Pode, ainda, ser utilizado o ensaio em pratos de pressão para conhecimento da curva de sucção que representa a capacidade de armazenamento de humidade no regime sobre-higroscópico.	-	-	EN ISO 12571 ISO/CD 24353	

Emissividade	Razão entre o poder emissivo de uma superfície de um material e o de um outro material teoricamente perfeito, o corpo negro, para um determinado comprimento de onda à mesma temperatura.	E	-	ASTM C 835-82
Factor de Absorção	Relação entre o fluxo de calor absorvido por uma superfície e o fluxo de radiação total incidente na superfície.	$\alpha_a$	%	-
Massa Volúmica Global	<p>Quociente da sua massa seca (<math>m_2</math>) dividida pelo volume exterior (V), incluindo poros.</p> $\rho_a = \frac{m_2}{V} \quad (2.1)$ <p>Recorrendo ao volume determinado pela NF B 10-503 a relação entre a pesagem higroscópica (<math>m_3</math>) e o peso saturado (<math>m_1</math>) pode aparecer como:</p> $\rho_a = \frac{m_2}{m_1 - m_3} \quad (2.2)$	$\rho_a$	kg/m <sup>3</sup>	ISO 10545-3 EN 12390-7 EN 772-12 EN 1015
Permeabilidade ao Ar	Relação entre a densidade de fluxo de ar nesse momento e a magnitude do gradiente de temperatura na direcção do fluxo.	$k_a$	kg/(m.Pa.s)	EN 12207 EN 1026 EN 12114

Permeabilidade Líquida	Quantidade de água que passa, por unidade de tempo, através da unidade de superfície do material de espessura unitária.  Esta permeabilidade pode ser determinada pelo <i>Método da Tina Invertida</i> , se determinada em laboratório, ou recorrendo a equipamentos portáteis para determinação <i>in situ</i> .	$q$	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	CSTB, cahier 1778-1779  FE Hu 02  FE Hu 06  FE Hu 10  Essai nº II.3
Permeabilidade ao Vapor de Água	Quantidade de vapor que passa na unidade de tempo, em regime permanente, através da unidade de superfície de material com espessura unitária, quando a diferença de pressão de vapor entre duas faces paralelas é também unitária.  Para a determinação desta permeabilidade são utilizados dois métodos: <i>Método da Tina Seca</i> e <i>Método da Tina Húmida</i> .	$\delta_p$	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	NP 12086  EN ISO 12572  ISO/DIS 21129
Permeância	Razão entre a permeabilidade ao vapor de água de um material e a espessura duma camada homogénea desse material.	$K_a$	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$	-
Porosidade Aberta	Razão entre o volume de vazios abertos do material e o seu volume aparente, sendo que como vazios abertos contabilizam-se poros e outras cavidades directamente ligados à superfície.	$\varepsilon_a$	%  ou $\text{m}^3/\text{m}^3$	ISO 10545-3  NF B 10-503

$$\varepsilon_a = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \quad (2.3)$$

Onde:

$m_2$  é a massa seca;

$m_3$  a pesagem higroscópica do provete;

$m_1$  o seu peso saturado.

Num material de porosidade aberta os vazios comunicam entre si permitindo a circulação de fluidos no seu interior. O material é mais ou menos permeável de acordo com a dimensão e geometria dos poros.

Porosidade Aparente	Razão entre o volume de vazios e o volume total de material sólido	$\varepsilon$	% ou $m^3/m^3$	ISO 10545-3 ASTM C 20
Porosidade Fechada	Num material de porosidade fechada os vazios não comunicam entre si e o material é, por isso, impermeável.	$\varepsilon_c$	% ou $m^3/m^3$	ISO 10545-3
Teor de Humidade	Um material encontra-se húmido quando possui, em simultâneo ou não, água sobre a forma gasosa, líquida ou sólida. O teor de humidade vem em função dessa quantidade de água possuída pelo material e é a relação entre a massa ou volume de água e a massa e/ou volume do material. Assim aparece:			EN ISO 12570
	<b>Teor de Humidade Mássico:</b> Relação entre a massa de água ( $m_l$ ) e a massa do material em estado seco ( $m_s$ );	$w$	kg/kg	

$$w = \frac{m_l}{m_s} \quad (2.4)$$

**Teor de Humidade em massa por unidade de volume:** Relação entre a massa de água ( $m_l$ ) e o volume aparente do material no estado seco ( $V_s$ );

$$u = \frac{m_l}{V_s} \quad (2.5)$$

**Teor de Humidade Volúmico:** Relação entre o volume de água contida pelo material ( $V_l$ ) e o volume aparente do material no estado seco ( $V_s$ ).

$$\theta = \frac{V_l}{V_s} \quad (2.6)$$

Para determinação do teor de humidade pode-se recorrer a vários métodos, alguns destrutivos outros não. Como método destrutivo tem-se, a exemplo, o *Método Gravimétrico*. Os métodos não destrutivos podem não garantir resultados tão rigorosos como os anteriores e são: *Métodos Eléctricos* (resistência eléctrica e capacidade térmica), *Método da Condutibilidade Térmica*, *Métodos baseados na Atenuação de Radiações*, *Métodos de Detecção de Partículas* por termalização de neutrões, *Método da Ressonância Magnética* (N.M.R.), *Microondas*,

u kg/m<sup>3</sup>

θ m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>



<i>Infravermelhos.</i>				
Um material diz-se higroscópico quando o seu teor de humidade varia em função da humidade do ar.				
Teor de Humidade Crítico	Teor de Humidade que o material apresenta quando em contacto com uma ambiência saturada e abaixo do qual o transporte de água por capilaridade é praticamente impossível.	$w_{cr}$	kg/kg	-
Teor de Humidade Higroscópico	Quantidade de água que um material contem quando em equilíbrio com ambiência que apresenta uma determinada humidade relativa.  Pode variar entre o zero absoluto, se o material estiver em contacto com uma ambiência com humidade relativa nula, e o teor de humidade crítico.	$w_h$	kg/kg	-
Teor de Humidade Máximo	Teor de humidade apresentado pelo material quando todo o volume não ocupado pelo esqueleto sólido da estrutura porosa está preenchido por água.	$w_{máx}$	kg/kg	-
Teor de Humidade de Saturação	Quantidade de água contida pelo material que esteve em contacto com água líquida num certo período de tempo.	$w_{sat}$	kg/kg	-
Resistência à Abrasão	Resistência ao desgaste da superfície causada pelo contacto desta com outras ou de partículas sólidas.	-	-	FE Pa28

Resistência ao Choque de Corpo Duro cortante	Capacidade do material resistir ao embate de um corpo rígido sendo esse corpo munido de arestas cortantes.	-	-	FE Pa26
Resistência ao Choque de Corpo Duro não cortante	<p>Capacidade do material resistir ao embate de um corpo rígido.</p> <p>A degradação física do revestimento de uma parede é não só esteticamente pejorativo como pode vir a gerar patologias maiores.</p> <p>A resistência ao choque de corpos duros é característica própria de cada material a ensaiar e, em função dessa característica, o material deve ser aplicado em diferentes zonas, com grau de exposição diferente.</p>	-	-	<p>CEN EN 13497</p> <p>FEPa25</p> <p>ISO 7892</p>
Resistência à Difusão do Vapor de Água	<p>Propriedade derivada da permeabilidade ao vapor de água que corresponde ao quociente da permeabilidade ao vapor no ar pela permeabilidade do material ao vapor de água.</p> <p>È o inverso da permeância.</p> <p>É frequentemente utilizado o conceito de espessura da camada de ar de difusão equivalente, que é uma grandeza de carácter prático, destinada a substituir uma camada de material com uma dada espessura por uma camada de ar de espessura tal que tenha a mesma</p>	μ	-	EN ISO 12572

permeância.

Resistência à Tracção/ Força de arrancamento por Tracção/ Aderência	Propriedade mecânica dos sistemas construtivos cujo ensaio determina a força necessária para provocar o arrancamento por tracção de uma determinada área de revestimento.	$f_u$	MPa	ASTM D 4541-02 EN 1015-12 RILEM MDT.D.3 ETAG 004 FE Pa36 EN 1348 EN 13495
Variação Dimensional com a Humidade Relativa	Expansão e retracção, em função da variação da humidade relativa, de vários materiais de construção.	$\alpha_h$	% ou m	EN 13009



# 3

## INFRA-ESTRUTURA EXPERIMENTAL

### 3.1. INTRODUÇÃO

Como verificado no capítulo anterior, a cada propriedade ou comportamento do material de construção ou sistema construtivo está associada uma norma ou conjunto de normas que indica métodos de determinação da referida propriedade. Estes métodos podem ser classificados em relação ao local onde são realizados como *in situ* ou laboratoriais, e em relação ao grau de destruição no material, elemento ou sistema construtivo, como não destrutivos ou destrutivos.

A execução de ensaios pressupõe equipamentos, amostras, conhecimento e metodologia adequados. Se reunir equipamentos e amostras é tarefa relativamente fácil, reunir conhecimento e metodologia torna-se mais complexo. A leitura de normalização e literatura relativa ao ensaio em questão é um passo importante mas não suficiente.

Pretendendo estudar e aprofundar conhecimentos sobre técnicas de determinação de algumas propriedades foi feita a análise das condições disponíveis no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Deste modo, e tendo em conta a infra-estrutura disponível, os ensaios seleccionados foram: arrancamento por tracção, choque de esfera, permeabilidade líquida e condutibilidade térmica em estado húmido.

Os provetes e equipamentos utilizados nos ensaios serão descritos nos subcapítulos seguintes.

### 3.2. PROVETES

#### 3.2.1. PAREDE A

A parede denominada de parede A é um provete instalado no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Universidade do Porto (FEUP) que em Fevereiro de 2008 foi alvo de ensaios de choque de esfera, riscagem, abrasão e comportamento após humedificação no âmbito de uma solicitação feita ao laboratório em questão.

Este provete apresenta dimensões aproximadas de 2 m x 2 m (4 m<sup>2</sup>) e é constituído por um murete de alvenaria de tijolo furado de 20 cm de espessura e um revestimento de isolamento térmico pelo exterior (ETICS). Por sua vez, o revestimento térmico exterior é constituído por perfis verticais de PVC, isolamento térmico em cortiça com 5 cm de espessura, rede metálica e reboco delgado pintado.

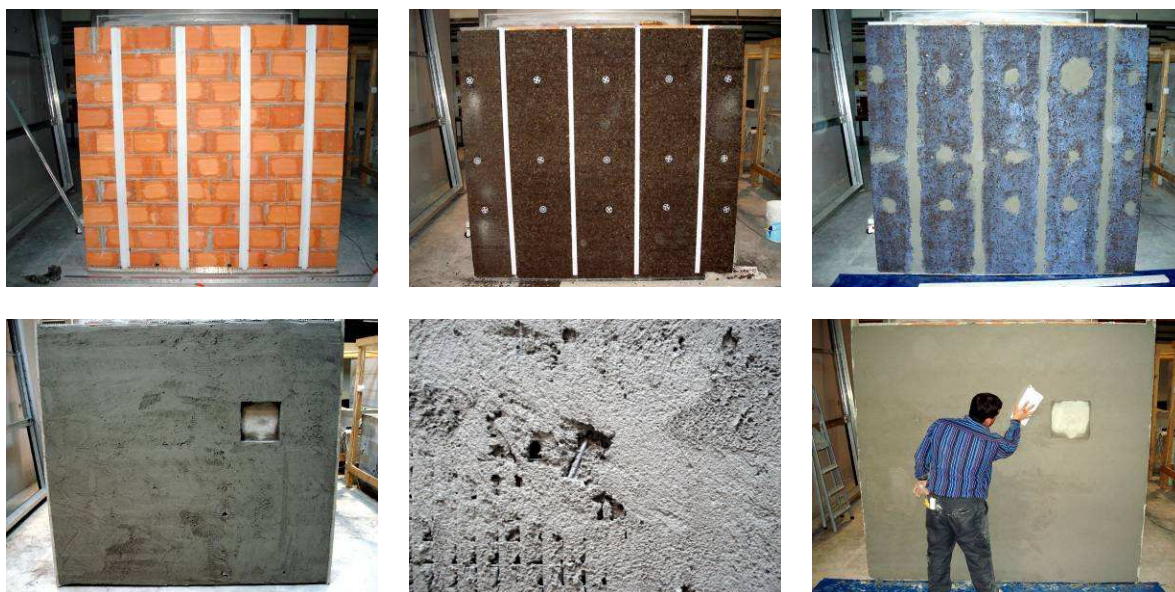


Fig.3.1 – Provede durante a construção (Adaptado de Machado *et al.*, 2008).



Fig.3.2 – Corte na parede A e parede A nas condições em que se encontrava antes de intervenções no âmbito deste trabalho, respectivamente.

1. AVENARIA DE TJOLO,
- esp = 20 cm
2. CORTIÇA, esp. = 5 cm
3. PARRIS DE PVC
4. REDE METÁLICA
5. REBOCO DELGADO
- PINTADO

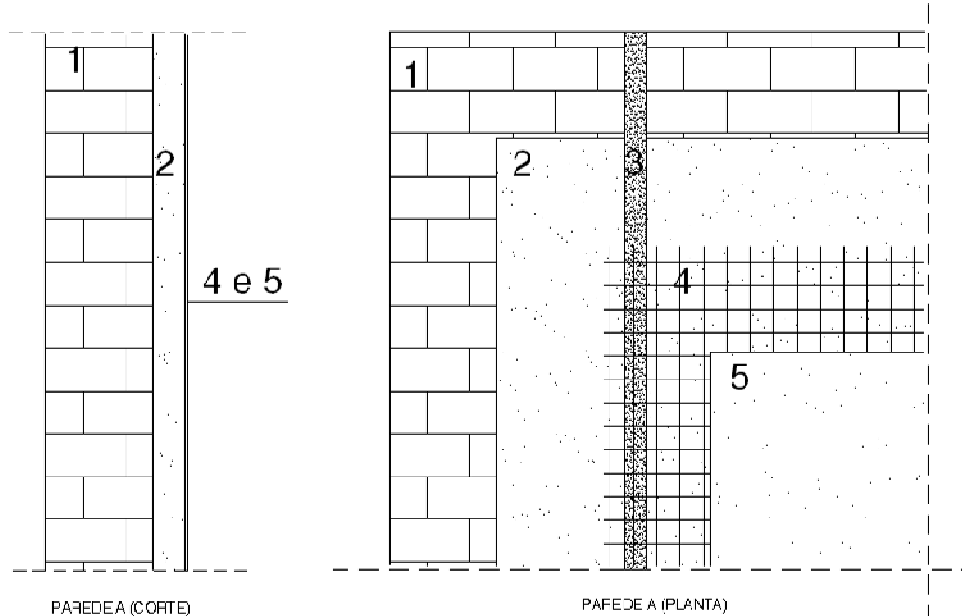


Fig.3.3 – Esquema demonstrativo da constituição do provete (Parede A em corte e planta).

### 3.2.2. PAREDE B

A parede denominada de parede B corresponde à face oposta da parede A, revestida agora com um reboco térmico.

O sistema é constituído por uma camada base, uma camada de regularização com reforço mecânico e uma argamassa de acabamento. A camada base consiste numa argamassa seca formulada a partir de ligantes mistos, agregados especiais de muito baixa densidade (Poliestireno expandido – EPS), adições e adjuvantes e é aplicada recorrendo à projecção da mesma sendo, por isso, um isolamento contínuo sem fixações nem colagens. A camada de regularização trata-se de uma argamassa armada com rede de fibra de vidro.



Fig.3.4 – Corte na parede B.

1. ALVENARIA DE TIJOLO.  
esp. = 20 cm
2. ARGAMASSA DE EPS
3. ARGAMASSA DE  
REGULARIZAÇÃO ARMADA  
COM REDE DE FIBRA DE  
VIDRO
4. ARGAMASSA DE  
ACABAMENTO

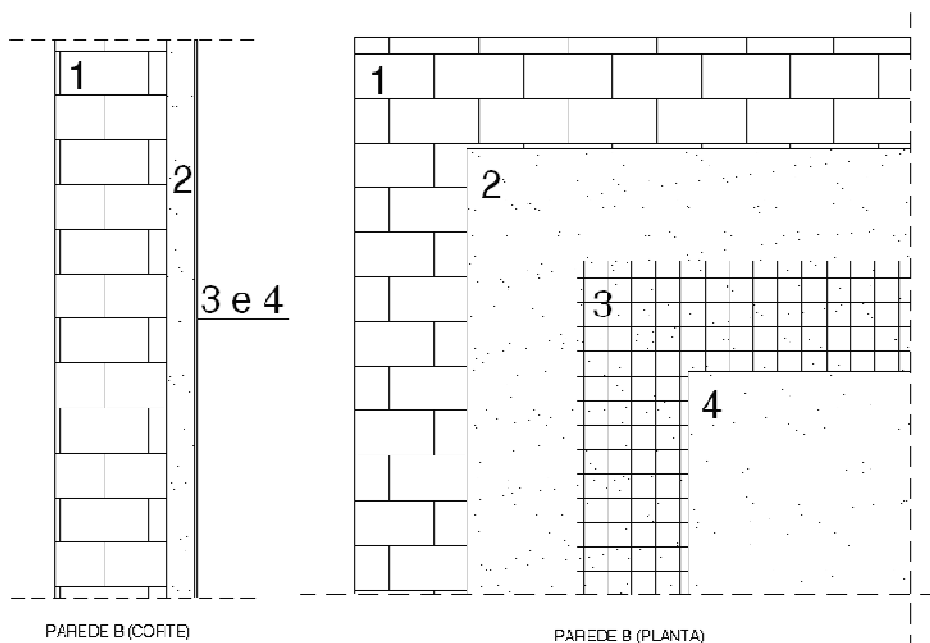


Fig.3.5 – Esquema demonstrativo da constituição do provete (Parede B em corte e planta).

### 3.2.3. PAREDE C

A parede denominada de parede C é um provete instalado numa câmara visitável ligada a uma câmara climática, a *Fitoclima 1000 EDTU*. Este provete já foi alvo de alguns ensaios no âmbito de outra dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, nomeadamente ensaios de impacto de corpo rígido, ensaios de arrancamento por tracção, envelhecimento higrotérmico e determinação do coeficiente de transmissão térmica (Pereira, 2009).

O provete tem dimensões de 1,9m x 1,9m (3,61m<sup>2</sup>) e encontra-se construído sobre um acessório móvel que assegura a união deste com a referida câmara visitável. Esta união pode ser vista na figura 3.6.





Fig.3.6 – Provete construído sobre acessório móvel ligado a câmara visitável.

Passando a uma descrição breve da constituição do provete pode dizer-se que este divide-se em dois outros provetes que diferem na composição no que diz respeito ao revestimento final. O provete é constituído por um suporte de alvenaria de betão leve de agregados de argila expandida com 20 cm de espessura que, segundo Pereira (2009), possui um coeficiente de transmissão térmica de  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Como argamassa de assentamento encontra-se uma argamassa leve, seca e pré-doseada à base de cimento Portland e areia calibrada cuja densidade ( $\gamma$ ) é de  $1400 \pm 150 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Esta argamassa de assentamento encontra-se distribuída de forma contínua e uniforme em todos os leitos ao longo da fiada, contudo as juntas verticais são secas e sem argamassa, com excepção das juntas contíguas à ligação entre a parede e o contorno do acessório móvel para provetes. Como isolamento térmico encontra-se Poliestireno Expandido (EPS 100) com espessura de 6 cm sendo a sua resistência térmica de  $1,62 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . A colagem entre o suporte e o isolamento é assegurada por uma argamassa de colagem pré-doseada em pó com resistência à tracção superior a  $0,08 \text{ MPa}$ . Como camada base encontram-se duas aplicações da argamassa de colagem referida sendo a primeira aplicação com cerca de 2 mm e a segunda aplicação com cerca de 1,5 mm efectuada após secagem da primeira. Entre estas duas aplicações encontra-se a armadura em rede de fibra de vidro com emendas efectuadas com sobreposições de 10 cm na vertical, aproximadamente a meio do provete. Relativamente ao acabamento final, a parede C1 possui uma camada cimentícia<sup>4</sup> constituída por argamassa pré-doseada em pó tipo cimentício com 1 mm de espessura e uma pintura de cor branca. Por sua vez, a parede C2

<sup>4</sup> Produto de revestimento de fachadas, interior e exterior, textura e à base de cimentícia.

possui um primário de aderência sobre a camada base e um revestimento plástico espesso (RPE<sup>5</sup>) com espessura de 1 mm e cor branca.

Nos ensaios realizados no âmbito desta dissertação apenas a parede C1 foi utilizada como provete. Essa parede é esquematicamente apresentada na figura 3.7.

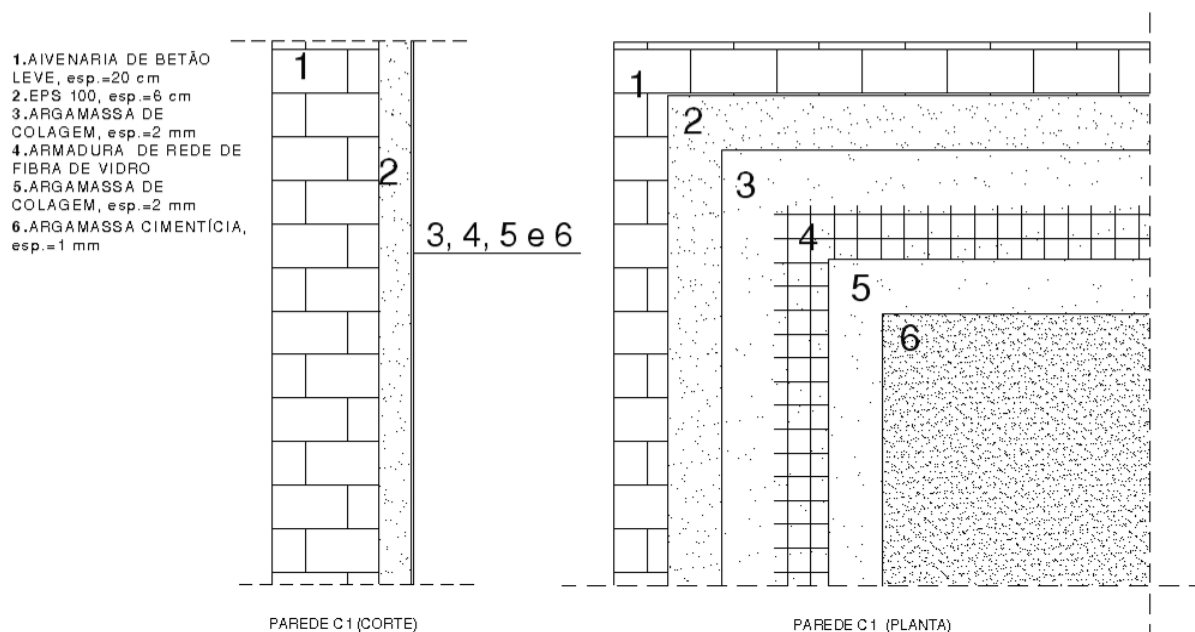


Fig.3.7 – Esquema demonstrativo da constituição do provete (Parede C1 em corte e planta).

### 3.2.4. ESPUMA DE POLIURETANO

Os provetes de espuma de poliuretano utilizados nos ensaios de determinação da condutibilidade térmica encontravam-se disponíveis no Laboratório de Física das Construções (LFC) por já terem sido alvo de ensaios do mesmo carácter. Os ensaios realizados sobre os provetes foram solicitados pela entidade fabricante, entidade essa que os fez chegar ao laboratório já com as dimensões apropriadas.

As amostras utilizadas nos ensaios realizados no âmbito desta dissertação foram denominadas por 1 e 2 e são constituídas por dois provetes de espuma de poliuretano com dimensões nominais de 300 mm x 300 mm x 40 mm.

<sup>5</sup> Produto de revestimento de fachadas texturado, à base de copolímeros acrílicos e com silicone incorporado.

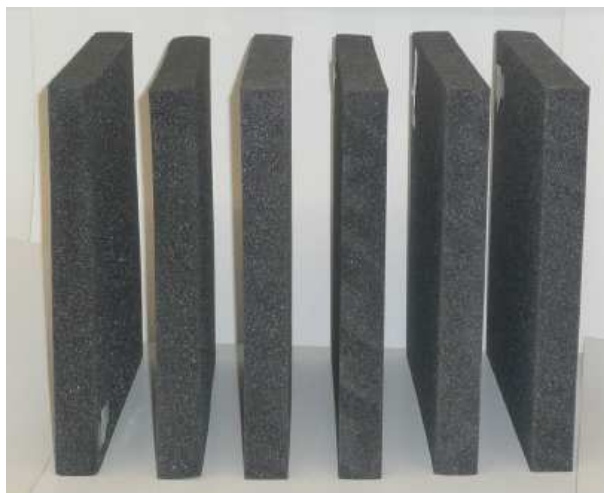


Fig.3.8 – Provates de espuma de poliuretano (Freitas *et al.*, 2009a).



Fig.3.9 – Espuma de poliuretano.

### 3.2.5. ARGAMASSA PARA REBOCO COM INERTES DE CORTIÇA

Os provates de argamassa para reboco com inertes de cortiça utilizados nos ensaios de determinação da condutibilidade térmica encontravam-se disponíveis no Laboratório de Física das Construções (LFC) por já terem sido alvo de ensaios do mesmo carácter. Os ensaios realizados sobre os provates foram solicitados pela entidade fabricante, entidade essa que preparou antecipadamente. Porém, no âmbito dos primeiros ensaios, as faces dos provates foram niveladas com recurso a uma argamassa de regularização, sendo a espessura da camada de nivelamento não superior a 1 mm.



Fig.3.10 – Provetes de argamassa para reboco com inertes de cortiça (Freitas *et al.*, 2009b).



Fig.3.11 – Provete de argamassa para reboco com inertes de cortiça.

As amostras utilizadas nos ensaios realizados no âmbito dissertação foram denominadas por 2 e 3 e são constituídas por dois provetes de argamassa para reboco com inertes de cortiça com dimensões nominais de 300 mm x 300 mm x 43 mm.

### 3.3. APARELHOS PARA ENSAIOS MECÂNICOS

#### 3.3.1. ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO

Para a execução do ensaio de arrancamento são necessários motor redutor e dinamómetro, rebarbadora e/ou carotadora Ø50 (diâmetro interior), pastilhas circulares (Ø50) e quadrangulares (50 mm x 50 mm) e cola à base de resinas (exemplo: resinas epoxy e methylmethacrylate).

O motor redutor e o dinamómetro utilizados nos ensaios desenvolvidos são os ilustrados na figura 3.12.



Fig.3.12 – Motor redutor, dinamômetro e respectiva bateria.

Para utilizar o equipamento referido é necessário que um parafuso seja fixado na rosca existente no centro de uma das faces das pastilhas metálicas para que, nesse parafuso, seja exercida uma força de tracção pelo equipamento. O dinamómetro apresenta a força máxima exercida em daN.

As pastilhas circulares utilizadas são metálicas de aço inoxidável com diâmetro de  $(50 \pm 0,1)$  mm e espessura de 1,8 cm. E, como já referido, possuem encaixe no centro de uma das faces para permitir a ligação á máquina de ensaio. Por sua vez, as pastilhas quadrangulares utilizadas são, igualmente, de aço inoxidável e de 50 mm x 50 mm e espessura de 1,8 cm. Ambas as pastilhas e ambas as faces das mesmas são ilustradas na figura 3.13.



Fig.3.13 – Pastilhas circulares e quadrangulares.

A fixação das pastilhas ao provete é feita com o auxílio de uma cola à base de resina epoxy, cola esta que suporta temperaturas até  $+65^{\circ}\text{C}$ . A cola utilizada possui uma embalagem composta por uma seringa de dois tubos com materiais com composições diferentes que, quando juntos, reagem quimicamente permitindo uma colagem de alta resistência. A apresentação sob a forma de seringa



permite que a aplicação da cola seja mais simples e que a dosagem de cada componente seja igual à do outro. A cola utilizada tem um período de cura nunca inferior a 6 horas e é visível na figura 3.14.



Fig.3.14 – Cola à base de resina epoxy.

A execução do pré-corte, dependendo de se tratar de pré-corte circular ou quadrangular, é realizada utilizando uma carotadora ou uma rebarbadora, respectivamente. No caso dos cortes circulares, efectuados com o auxílio da carotadora, no primeiro contacto do equipamento com a superfície existem pequenos ressaltos que dificultam a precisão do corte. Para facilitar esta primeira intervenção pode recorrer-se a um molde de pré-corte onde a carotadora encaixa deixando de ocorrerem os referidos ressaltos. Os equipamentos mencionados neste parágrafo encontram-se ilustrados na figura 3.15.



Fig.3.15 – Rebarbadora, carotadora e molde auxiliar de pré-corte.

### 3.3.2. ENSAIO DE CHOQUE DE ESFERA

Para a realização do ensaio de choque de esfera pode utilizar-se o aparelho de *Martinet Baronnie* munido de uma esfera de 0,5 kg que se pode anexar na extremidade livre da barra rígida do aparelho. Esta massa ao cair de uma altura de 0,6 m produz uma energia de 3 Joules.

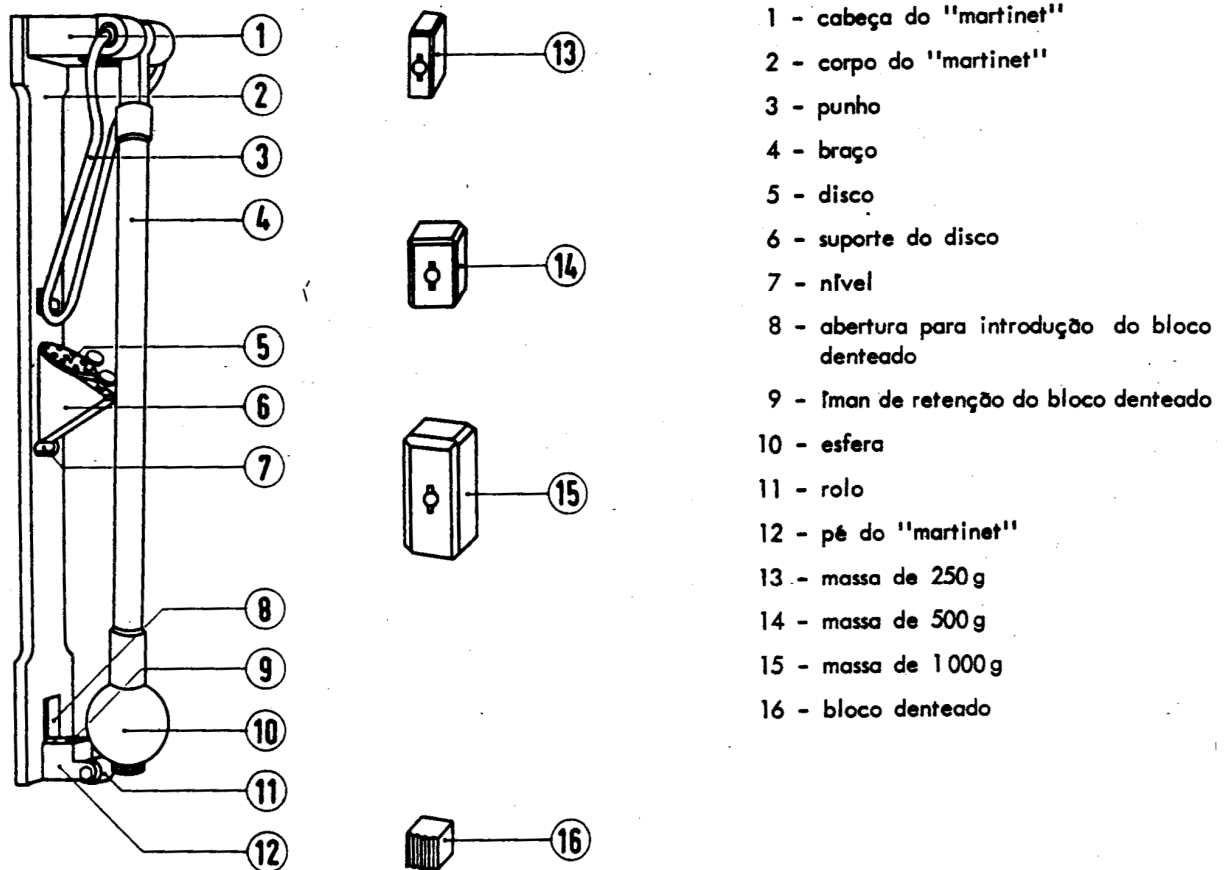


Fig.3.16 – Representação do aparelho de *Martinet Baronnier* e acessórios (Machado *et al.*, 2008).

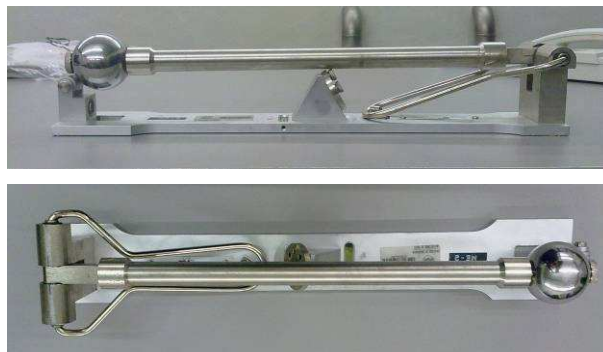


Fig.3.17 – Aparelho de *Martinet Baronnier*.

Para que o impacto da esfera na superfície vertical seja mais facilmente identificável pode-se polvilhar um material que deixe impressão na primeira. O material utilizado foi, em alguns ensaios, a grafite. A mesma é visível na figura 3.18.



Fig.3.18 – Grafite.

### 3.4. APARELHOS PARA ENSAIOS HIGROTÉRMICOS

#### 3.4.1. ENSAIO DE PERMEABILIDADE LÍQUIDA

O aparelho utilizado nos ensaios de permeabilidade líquida sob baixa pressão, denominado *ELE – Internactional 35-40-45*, é constituído por uma plataforma que é aplicada sobre a parede. A plataforma consiste numa caixa metálica com dimensões na ordem dos 16 x 34 cm<sup>2</sup>.

A ligação entre a caixa e a fachada é assegurada por uma borracha que envolve todo o perímetro da zona de contacto, sendo ainda adicionado *mastique* como garantia de contacto e estanquidade total entre a fachada e a caixa. Um tubo deste material bem como uma pistola de aplicação do mesmo encontram-se ilustrados na figura 3.19. Na parte inferior da caixa existe uma válvula que possibilita o escoamento da água no final da realização do ensaio.





Fig.3.19 – Aparelho ELE - Internacional 35-40-45.



Fig.3.20 – Mastique e pistola para aplicação do mesmo.

O tubo de *Mariotte*, visível na figura 3.19, é fixado à plataforma por um sistema de suporte e serve de reservatório de água. Esse tubo é munido de uma escala que permite a leitura do volume de água introduzido no paramento.

#### 3.4.2. ENSAIO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA – DIFERENTES TEORES DE HUMIDADE

O aparelho utilizado nos ensaios de condutibilidade térmica, denominado *Portátil CT-Mètre*, é constituído por duas partes:

- Unidade de controle: gera a potência para o aquecimento da amostra e analisa a curva de variação da temperatura induzida nesta;
- Sonda: elemento constituído por uma resistência e um termopar do tipo J agrupados num único bloco.

Por sua vez, a sonda utilizada pode ser de três modelos tipo: *Anneau*, *Fil* e *Monotige*. Os três tipos de sonda diferem na forma como a resistência e o termopar estão dispostos bem como na forma da própria sonda.

A sonda *Fil* utilizada nos ensaios deste trabalho é uma sonda plana de 0,3 mm de espessura que foi construída usando multicamada cobre-poliamida-constantan. Trata-se de uma sonda filiforme, com comprimento de 50 mm e resistência de 8,21  $\Omega$ .

Relativamente à unidade de controlo, ou seja, ao portátil *CT-Mètre* em si, este equipamento possui características que se encontram resumidas no quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Caracterização do portátil *CT-Mètre*.

CT-Mètre	
Método de medida	Regime transitório
Gama de medida	0,02 a 5 W/(mK)
Gama de temperatura	-20°C a 80°C
Precisão	$\pm 2 \%$
Repetibilidade	$\pm 1 \%$
Tempo de medida	40 a 500 s
Ecrã	Duas linhas de 40 caracteres
Saída digital	RS 232C
Saída analógica	0 a 5 A e 0 a 5 V
Alimentação	Ac 220 V (50 Hz)
Dimensões	390 mm x 350 mm x 160 mm
Peso	5 kg



Fig.3.21 – Portátil *CT-Mètre* e sonda *Fil*, respectivamente.

O ensaio de condutibilidade térmica recorrendo ao *Método de Choque Térmico* pode ser realizado para distintos teores de humidade. Desta forma, de modo a atribuir ao provete a humidade desejada para o

teste, pode-se colocá-lo numa câmara climática com temperatura e humidade relativa (HR) controladas, como a ilustrada na figura 3.22.



Fig.3.22 – Câmara climática *Fitoclíma 3600 EDTU* com temperatura e HR controladas.

Dentro da câmara climática ocorrerão trocas de humidade entre os provetes e o ambiente da própria câmara, trocas essas que findarão quando os provetes atingirem a mesma humidade relativa que o ambiente da câmara. Quando as trocas deixarem de existir a massa dos provetes manter-se-á constante. Para determinação da massa dos provetes pode-se recorrer a uma balança digital como a ilustrada na figura 3. 23.



Fig.3.23 – Balança digital.

Após extracção dos provetes da câmara climática, para que não sejam alteradas as características dos provetes referentes a humidade, estes devem ser envolvidos em película aderente comum.



Fig.3.24 – Película aderente.

Por fim, de modo a proceder à secagem dos provetes para posteriormente determinar a sua massa em estado seco,  $m_s$ , estes devem ser inseridos numa estufa com temperatura e caudal de ventilação controláveis até apresentarem massa constante.



(a)

Vista exterior da estufa utilizada.



(b)

Controlo da estufa para regularização da temperatura e caudal de ventilação.

Fig.3.25 – Estufa *WTB binder* para secagem dos provetes.

# 4

## ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO

### 4.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO

Quando se fala em desempenho de um revestimento podem surgir três perguntas subjacentes: O que é, qual a importância e como garantir? O desempenho de um revestimento é o seu comportamento em uso e para garantir um bom desempenho ele deve exercer correctamente as suas funções. As funções de um revestimento são: proteger a alvenaria e estrutura da acção dos agentes externos, integrar a fachada dos edifícios, regularizar a superfície dos elementos de fachada e servir como base para acabamentos decorativos (Carasek, 2009). Existem porém revestimentos, nomeadamente o reboco, que podem ter ainda a função decorativa se, por exemplo, nele forem incorporados pigmentos (Quintela, 2006). O desempenho de um revestimento deve ser garantido por razões várias, mas sobretudo por razões de segurança. O mau desempenho de um revestimento, como a falta de aderência do revestimento ao suporte, conduz a destacamentos que poderão ser agravados pela acção dos agentes de degradação e originar situações de perigo para os utentes (Flores-Colen *et al.*, 2007). Estas situações podem levar a quedas de parte do revestimento provocando acidentes que envolvam vidas, a integridade física de seres humanos ou processo judiciais, destruição da imagem da construtora, despesas financeiras e desperdícios. A garantia do desempenho dos revestimentos é produto final de opções relacionadas ou tomadas no projecto, nos materiais, na execução e na manutenção.

Um dos principais meios de avaliação do desempenho dos revestimentos é o ensaio de arrancamento por tracção. Este ensaio avalia a aderência entre o revestimento e a camada base ou entre as várias camadas da parede. A resistência de aderência é uma das principais características a exigir a um revestimento e define-se como a capacidade de resistir às tensões normais actantes nas diversas interfaces (Vieira, 2009). Existem dois processos pelos quais se pode dar a colagem: processos de natureza mecânica e processos de natureza química. Geralmente a aderência entre a argamassa e o suporte resulta da penetração da leitança, ou da própria argamassa, nos poros e rugosidades da camada de suporte, ou seja, de fenómenos mecânicos. Assim desenvolve-se uma acção de ancoragem da argamassa à base, tratando-se da aderência mecânica. Contudo, existem situações em que se recorre ao uso de cimentos-cola, ou materiais idênticos, utilização essa que se baseia na presença de resinas que produzem uma aderência através de ligações químicas, tratando-se da aderência química (Quintela, 2006).

O ensaio de arrancamento por tracção permite a avaliação da aderência durante a fase de execução (no âmbito do controlo da qualidade) ou na fase de pós-ocupação para avaliação do desempenho em serviço. É um ensaio de simples e barata aplicação e fornece resultados quantitativos fiáveis acerca da aderência. Esta técnica apresenta várias vantagens. Além do custo do equipamento ser médio, o

aparelho é de simples manuseamento existindo mesmo aparelhos portáteis e mais leves (Flores-Colen *et al*, 2007). É, ainda, um ensaio possivelmente utilizado como monitorização, *in situ*, ou como meio de avaliação do comportamento de novos materiais face a agressões a que possivelmente estarão expostos em vida útil. Neste último caso, pode ser utilizado em laboratório onde se criam provetes com as características do previsto no campo de aplicação do material. Este ensaio tem, contudo, algumas desvantagens tais como o facto de ser destrutivo, o que leva a reparações nas zonas ensaiadas, ou o facto de exigir algum tempo para a sua aplicação e meios auxiliares de acesso. O ensaio não possui uma realização contínua já que exige uma primeira fase de preparação e colagem de pastilhas, uma segunda de realização do ensaio e uma terceira de reparação dos locais ensaiados.

Para diminuir as desvantagens desta técnica pode recorrer-se a duas vias (Flores-Colen, 2009):

- Conjugação desta técnica com outras técnicas *in situ*, não destrutivas para definir os locais de ensaios, nomeadamente:
  1. Mapeamentos com videocâmara e registo do som com sonómetros (análise do sinal acústico gerado pela percussão na superfície, registando as coordenadas geométricas desses pontos);
  2. Termografia (as zonas aderentes apresentam inércia térmica elevada e condutibilidades térmicas diferentes);
  3. Medição óptica das frequências e velocidades das áreas não aderentes durante a excitação dinâmica através de um equipamento que analisa o efeito de *Doppler* das ondas emitidas e sua sobreposição (“*laser Doppler interferometry*”);
  4. Ultra-sons (apresenta grande capacidade de detectar e medir vazios na interface do revestimento com o suporte que contribuem para a rotura por perda de aderência; no entanto, a propagação e atenuação das ondas ultra-sónicas dependem significativamente da constituição do sistema de revestimento e sua espessura);
- Utilização do ensaio de arrancamento por tracção com uma abordagem metodológica sistemática – incluir na análise as seguintes etapas:
  1. Análise qualitativa da aderência do revestimento ao suporte através da utilização de métodos expeditos de percussão (martelo ou roda denteada) e avaliação do som produzido;
  2. Escolha selectiva das zonas a ensaiar (evitando zonas singulares) e respectivo número de ensaios (para uma adequada decisão sobre o desempenho em serviço em termos de aderência);
  3. Utilização de técnicas auxiliares para minimizar a variabilidade das condições do ensaio (por exemplo, garantir que a profundidade dos rasgos seja constante);
  4. Realizar alguns ensaios de arrancamento com o objectivo de “sondagem” para avaliar as amostras após ensaio e o suporte;
  5. Analisar estatisticamente os resultados em termos de tensão média de arrancamento à tracção, valores mínimos obtidos, tensões obtidas para cada modo de rotura e respectiva tipologia de rotura;
  6. Comparar os resultados obtidos com valores de referência, criando, se possível, escalas de desempenho.

Estas técnicas para diminuir as desvantagens do ensaio de arrancamento por tracção continuam, porém, a ter as desvantagens, tal como: maior tempo consumido na análise, a experiência e conhecimento especializado na interpretação dos resultados e o custo elevado dos equipamentos.

## 4.2. NORMAS DE ENSAIO

O ensaio de arrancamento por tracção é preconizado por várias norma nacionais e internacionais. Contudo, para a mesma situação de ensaio, surgem resultados distintos, principalmente quando os ensaios se desenrolam em diferentes laboratórios. Esta variabilidade de resultados resulta de parâmetros divergentes ou pouco especificados nas diferentes normas. Contudo, embora haja diferentes normas, o princípio do método não varia e consiste na aplicação de uma força de tracção perpendicular ao plano do revestimento, após a delimitação de um provete. São divergentes ou pouco específicos parâmetros de ensaio relacionados com:

- Geometria do provete;
- Dimensões do provete;
- Técnicas de preparo do provete;
- Velocidade de aplicação da carga;
- Quantidade mínima de provetes;
- Formas de apresentação dos resultados.

Desta forma, em modelação computacional ou em ensaios laboratoriais podem ser consideradas diferentes variáveis de modo a investigar os parâmetros de ensaio que interferem na medida dos valores de resistência de aderência à tracção. Dentro das variáveis possíveis tem-se: execução ou não de pré-corte; tipo de equipamento utilizado no pré-corte (exemplo: carotadora, rebarbadora ou anel de corte); momento de execução do pré-corte (exemplo: argamassa fresca ou após cura); geometria e dimensões das pastilhas (exemplo: quadrangulares de dimensões 50 mm x 50 mm, 100 mm x 100 mm ou 200 mm x 200 mm e circulares Ø50); tipo de cola (exemplo: base epoxy ou poliéster); espessura da camada de cola; excentricidade das patilhas (exemplo: com ou sem excentricidade); tipo de equipamento de aplicação da força; velocidade de aplicação da carga, etc.

No presente capítulo pretende-se enumerar e analisar as principais particularidades introduzidas em cada norma à metodologia do ensaio de arrancamento por tracção.

### 4.2.1. ASTM D 4541-02

A ASTM D 4541-02: *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers* é uma norma americana que identifica um grupo de cinco equipamentos que podem ser utilizados no ensaio de arrancamento por tracção bem como os procedimentos que a utilização de cada um exige. Nesta norma os equipamentos são classificados como sendo do tipo I a V. Os equipamentos de tipos I e II são equipamentos de alinhamento fixo e, assim, é necessário alinhar o equipamento perpendicularmente á superfície antes do ensaio. Por sua vez, os equipamentos de tipos III, IV e V são equipamentos que possuem a capacidade de aplicar a força perpendicularmente ao paramento sem qualquer ajuste prévio.





Fig.4.1 – Equipamentos de ensaio de aderência do tipo I a V, respectivamente (Adaptado de ASTM D 4541 – 02:2007).

Relativamente a procedimento de ensaio, esta norma refere um procedimento de ensaio semelhante ao definido noutras normas dando ênfase especial à necessidade de limpeza das superfícies e dos excessos de produto de colagem das pastilhas. Nesta norma não são previstos pré-cortes já que, de acordo com a mesma, a realização dos mesmos introduz tensões que provocam alterações nas propriedades dos revestimentos levando a amostras alteradas contrariamente ao que é desejável em ensaios “*in situ*”. Estas alterações devem ser tomadas em conta, no âmbito desta norma, pelo facto de, aqui, este ensaio se aplicar a produtos de impermeabilização ou tintas, ou seja, produto de pouca espessura e “frágeis”, contudo perde um pouco a intensidade quando o ensaio se destina a avaliar aderência entre as camadas mais espessas e o suporte. A norma ASTM D 4541-02 indica a realização de três ensaios como mínimo de repetições do ensaio para caracterização da área, área essa que deve ser plana, de qualquer orientação, ou seja, horizontal ou vertical, e de dimensões suficientes para a repetição do ensaio em número desejado.

#### 4.2.2. EN 1015-12

A norma EN 1015: *Methods of test for mortar for masonry* e concretamente a Parte 12: *Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrate*, apresenta uma descrição do ensaio de arrancamento por tracção aplicado a argamassas de reboco e estuque e é uma norma orientada para o estudo laboratorial da aderência.

Esta norma prevê a realização de pré-corte que deve ser circular e efectuado com carotadora de diâmetro interior de 50 mm. Sendo uma norma orientada para estudo laboratorial prevê a utilização de um anel circular para realização do pré-corte em painéis de argamassa fresca. A introdução do anel circular na argamassa deve ser com movimentos de ligeira rotação até ao suporte e a remoção deve ser com movimentos semelhantes. O anel deve ser lubrificado e limpo apresentando dimensões e geometria semelhante ao apresentado na figura 4.2.



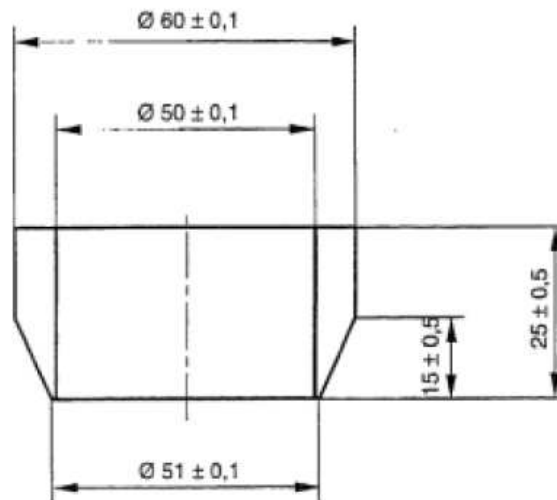


Fig.4.2 – Anel circular de pré-corte aplicado a argamassa frescas (EN 1015 – 12:2000).

Relativamente a dimensões e geometria de pastilhas, a norma prevê a utilização de pastilhas circulares de aço inoxidável com diâmetro de  $(50 \pm 0,1)$  mm e espessura mínima de 10 mm. As pastilhas devem possuir encaixe no centro de uma das faces para permitir a ligação à máquina de ensaio.

A norma EN 1015-3 indica a realização de cinco ensaios como mínimo de repetições do ensaio para caracterização da área. A distância entre cortes ou entre estes e os bordos livres não deve ser inferior a 50 mm.

#### 4.2.3. RECOMENDAÇÃO RILEM MDT.D.3

A recomendação RILEM MDT.D.3: *Determination "in-situ" of adhesive strength of rendering and plastering mortars to their substrate* propõe alterações à norma EN 1015-3 com vista à sua aplicação *in situ*.

A recomendação propõe a lubrificação da carotadora com água para minimizar os danos causados no provete durante a execução do pré-corte. Esta lubrificação leva a que, após realização dos pré-cortes, exista um período de secagem do revestimento antes que se possa prosseguir com o ensaio. Para estabelecer a profundidade do pré-corte recomenda-se uma sondagem para avaliar a espessura real do revestimento.

Esta recomendação sugere a utilização de pré-corte e pastilhas quadrangulares de área equivalente à das pastilhas circulares Ø50, ou seja, aproximadamente 45 mm x 45 mm. Esta sugestão surge sempre que o pré-corte possa causar desagregação e a secção quadrangular deve ser obtida pela intercepção de quatro cortes realizados com a lâmina de uma rebarbadora.

Segundo a recomendação, o número de ensaios deve ter um mínimo de seis e, existindo uma grande heterogeneidade no revestimento ou suporte, o número deve aumentar.

#### 4.2.4. ETAG 004

A ETAG 004: *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering* trata-se de um guia para a aprovação técnica europeia que define os requisitos

de desempenho do ETICS como sistema de isolamento exterior de edifícios. Esta ETAG apresenta um conjunto de testes a que o ETICS deve ou pode ser sujeito de modo a demonstrar a sua aptidão para o uso. Nalguns produtos, geralmente os mais convencionais, a execução de todos os testes não é necessária mas em produtos classificados como inovadores ou de aplicação excepcional, todo o pacote de testes de avaliação pode ser aplicável. Nesse conjunto de testes destaca-se o de arrancamento por tracção.

A aderência no ETICS dever ser medida entre as camadas de base e o isolamento térmico, entre o produto de colagem e o suporte e entre o produto de colagem e o isolamento. No segundo caso mencionado, a aprovação técnica sugere ainda ensaios com provetes em diferentes condições, nomeadamente: sem procedimento algum (estado seco), após imersão em água por dois dias e secagem por duas horas a  $(23\pm 2)$  °C e  $(50\pm 5)$  % de humidade relativa.

Esta ETAG sugere o uso de pré-corte e pastilhas de secção quadrangular e dimensões de 50 mm x 50 mm para plástico celular ou 200 mm x 200 mm para lã mineral. O número de ensaios indicado por este documento é de cinco como mínimo.

#### 4.2.5. EN 1348

A norma EN 1348: *Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives* é utilizada para avaliação da resistência à tracção de produtos de colagem de revestimentos descontínuos aderentes para aplicação em ambiente interior ou exterior, em paredes ou em pisos.

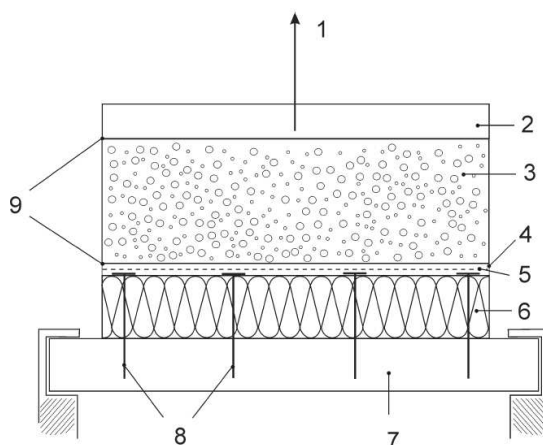
Nesta norma surgem novamente recomendações a pastilhas quadrangulares com dimensões de  $(50\pm 1)$  mm x  $(50\pm 1)$  mm e uma espessura mínima de 10 mm.

A aderência pode ser calculada em diversas ocasiões e condições de modo a determinar a aderência inicial, após imersão em água, após envelhecimento por aquecimento e após ciclo de gelo-degelo.

#### 4.2.6. EN 13495

A norma europeia EN 13495: *Thermal insulation products for building applications - Determination of the pull-off resistance of external thermal insulation composite systems (ETICS)(foam block test)* especifica o equipamento e um método de determinação da resistência de aderência para sistemas de isolamento pelo exterior (ETICS). O método apresentado é conhecido pelo “método do bloco de espuma” e difere do mencionado nas restantes normas apresentadas até então quer no material utilizado quer no procedimento. Contudo o princípio do teste baseia-se igualmente na aplicação de uma força perpendicular ao paramento.

A título de curiosidade é apresentada uma esquematização do ensaio na figura 4.3.



1-Força de Tensão; 2-Painel de madeira; 3-Bloco de espuma; 4-Camada de base; 5-Reforço; 6-Material de isolamento térmico; 7-Laje de concreto armado; 8-Âncoras; 9-Cola

Fig.4.3 – Exemplo de aparelho de teste e amostra para o teste estático de bloco de espuma (EN 13495:2002).

### 4.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Visando a obtenção de resultados mais fiáveis e com a menor variabilidade possível, no presente trabalho são estudados alguns dos parâmetros de ensaio que interferem na medida dos valores de resistência de aderência. O estudo desses parâmetros é feito experimentalmente.

Neste estudo experimental existem algumas variáveis, tais como:

- Geometria das pastilhas: quadrangulares e circulares;
- Existência de pré-corte;
- Geometria do pré-corte;
- Equipamentos de execução do pré-corte;
- Provetes.

A existência de variáveis como as referidas implica procedimentos de ensaio distintos.

O presente capítulo pretende ser uma exposição do procedimento experimental seguido nos ensaios realizados. Este procedimento assenta na normalização exposta anteriormente.

O primeiro passo passa pela definição da posição das zonas de ensaio. Nas paredes A e B foram marcadas seis zonas de ensaio e cinco na parede C1. Assim, e atribuindo designações a cada ensaio, os ensaios com pastilhas circulares vão de  $A_1$  a  $A_{17}$  e os ensaios com pastilhas quadrangulares vão de  $A'_1$  a  $A'_{17}$ .

Relativamente a ensaios sem pré-corte, só foram realizados nas paredes A e B, unicamente com pastilhas circulares e seis em cada parede indo, deste modo, de  $A''_1$  a  $A''_{12}$ .

A posição dos ensaios foi marcada tomando em conta que cada ensaio deve distar dos restantes e dos bordos livres pelo menos 50 mm.

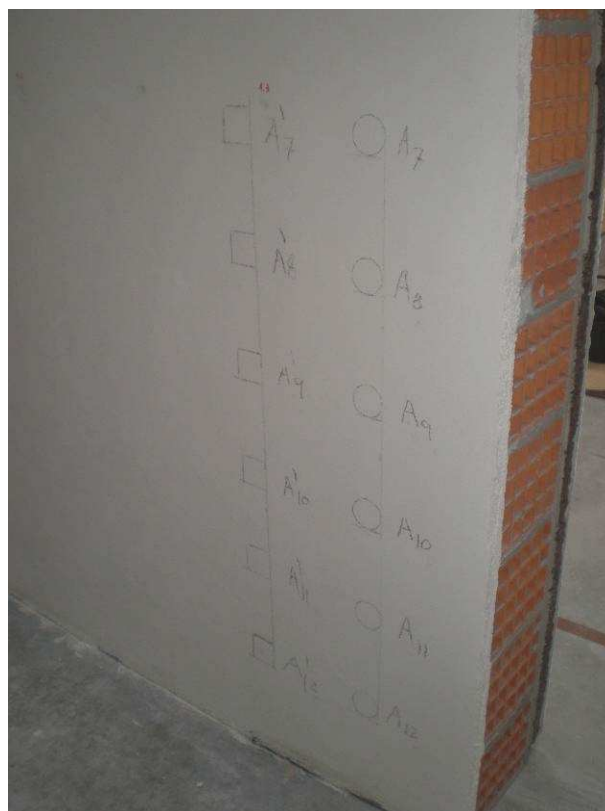


Fig.4.4 – Marcação das posições dos ensaios na parede A.

O passo seguinte é a execução dos pré-cortes, que dependendo da geometria e do material, foram executados com uma carotadora, uma rebarbadora e uma lâmina cortante. Os pré-cortes circulares foram executados com o auxílio da carotadora de diâmetro interior de 50 mm enquanto que para a realização dos quadrangulares recorreu-se a uma rebarbadora e a quatro cortes interceptados feitos pela lâmina do aparelho. Contudo, a rebarbadora foi unicamente utilizada na parede A já que a constituição das paredes B e C1 permitiam o corte manual, ou seja, recorrendo apenas a uma lâmina cortante. Todos os pré-cortes quadrangulares possuem aproximadamente 50 mm de aresta.



(a)

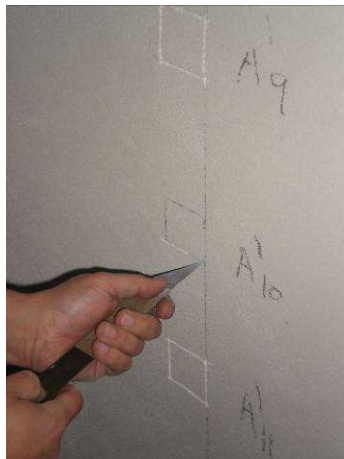
Execução de pré-corte circular com auxílio de carotadora de diâmetro interior de 50 mm.



(b)

Primeira fase da execução de pré-corte circular com molde auxiliar de corte.

Fig.4.5 – Pré-cortes circulares.



(a)

Execução de pré-corte quadrangular com auxílio de lâmina cortante.



(b)

Execução de pré-corte quadrangular com o auxílio de rebarbadora.

Fig.4.6 – Pré-cortes quadrangulares.

Após realização dos pré-cortes, e uma vez que não foram utilizados lubrificantes, passou-se á colagem das pastilhas circulares ou quadrangulares conforme o caso. A colagem das pastilhas foi feita com cola à base de resinas epoxy, cola essa referida no capítulo 3.3.1. A cola foi colocada e espalhada na face lisa das pastilhas, pastilhas essas também referidas no capítulo 3.3.1. Este procedimento pode ser visualizado na figura 4.7.



(a)

Aplicação de cola à base de resina epoxy na face plana das pastilhas.



(b)

Mistura dos dois componentes depositados na pastilha em proporções iguais.

Fig.4.7 – Aplicação de cola nas pastilhas.

Na colagem das pastilhas as superfícies encontravam-se limpas e os excessos do produto de colagem foram removidos bem como foram tomados cuidados para que a cola não penetrasse nas incisões do pré-corte.

Para a fixação das pastilhas com a cola no paramento colocou-se a pastilha na posição desejada e aguardou-se cerca de 90 segundos fazendo pressão sobre a pastilha.

Após estes passos as pastilhas ficam com o aspecto visível na figura 4.8.



(a)

Pastilhas circulares com pré-corte circular.



(b)

Pastilhas quadrangulares com pré-corte quadrangular.



(c)

Pastilhas circulares sem pré-corte.

Fig.4.8 – Pastilhas fixas nos provetes.

Após período de secagem da cola passou-se á realização do ensaio propriamente dita. Para realização do ensaio é necessário acoplar o motor-redutor e o dinamómetro no parafuso que, por sua vez, é preso na face das pastilhas que possui encaixe no centro. O equipamento deve ser colocado com cuidado e na posição correcta, posição essa ilustrada na figura 4.9.



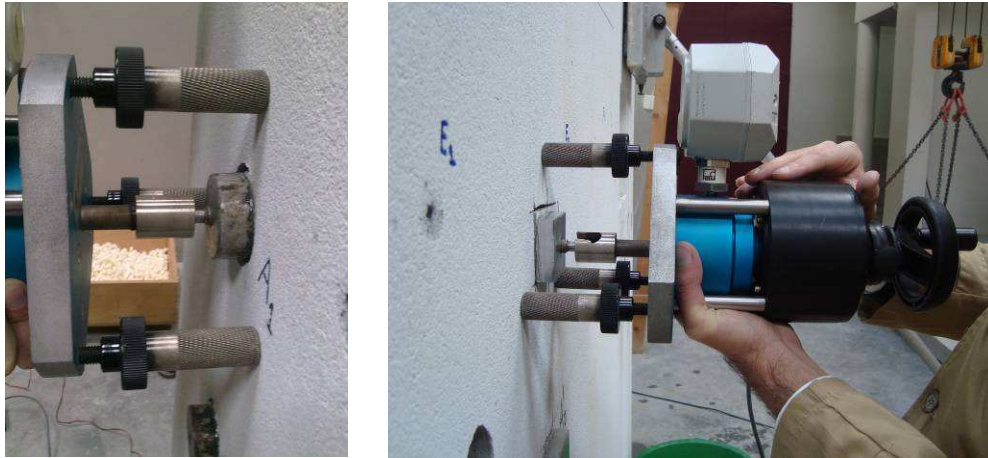


Fig.4.9 – Acoplagem do motor-reductor e dinamómetro.

Após arrancamento de cada corpo de prova foi registado o respectivo valor da força máxima de tracção exercida dada pelo dinamómetro em daN bem como o tipo de rotura verificado.

O encerramento do procedimento experimental foi feito com a limpeza das pastilhas recorrendo, para tal, a uma fonte de aquecimento que amolece a cola e permite retirar das pastilhas todo o material arrancado do provete. Esse processo de limpeza encontra-se ilustrado na figura 4.10.



(a)

Fonte de Aquecimento.



(b)

Limpeza das pastilhas após aquecimento.

Fig.4.10 – Limpeza das pastilhas metálicas.

Todas as fases da realização dos ensaios encontram-se datadas e em anexo (Anexo: Calendarização real de tarefas laboratoriais).

#### 4.4. DIFICULDADES DO ENSAIO

Além das particularidades introduzidas no ensaio pelas distintas normas anteriormente referidas, surgem, durante a sua realização, dificuldades que têm que ser ultrapassadas com respostas rápidas e eficientes. Neste capítulo pretende-se enumerar alguns contratemplos que surgiram na realização do ensaio de arrancamento por tracção.

Na fixação das pastilhas ao provete a acção da gravidade toma um papel bastante significativo e acaba por ser responsável por escorregamentos das pastilhas. A figura 4.11 é ilustração de uma pastilha cuja fixação ocorreu em posição incorrecta devido à acção da gravidade.



(a)

Pastilha A<sub>10</sub> fixada em posição incorrecta devido à acção da gravidade.



(b)

Pastilha A<sub>10</sub> após realização do ensaio de arrancamento.

Fig.4.11 – Pastilha fixada incorrectamente.

Os ensaios cujas anomalias foram detectadas a tempo de serem substituídos assumiram designações com o mesmo nome com o acréscimo de asterisco (exemplo: A<sub>10</sub> passa a designar-se A<sub>10</sub>\*).

A acção da gravidade pode ser ainda mais violenta levando à queda da pastilha, situação essa que também se verificou e que se encontra ilustrada na figura 4.12. Nessa figura pode ser vista, ainda, a reposição dessa pastilha num local próximo.





Fig.4.12 – Antiga e nova posição da pastilha A''<sub>10</sub>.

Alguns dos ensaios de arrancamento por tracção sem pré-corte foram realizados antes do período de cura da cola. Embora o período de cura da cola seja apontado como, no mínimo, 6 horas, verificou-se que esse período não é suficiente para que a cola adquira uma resistência superior à de rotura das várias outras interfaces. Assim, a rotura obtida nos ensaios mencionados foi puramente adesiva na interface cola/revestimento.



Fig.4.13 – Marcas deixadas no paramento pelos ensaios feitos antes do período de cura da cola.

Relativamente aos ensaios com pré-corte, a realização desses pré-cortes introduziu algumas tensões nos corpos de ensaio sobretudo na parede A cuja lâmina da rebarbadora não atingiu a totalidade da cortiça e foi necessário finalizar o corte com o auxílio de uma lâmina cortante. Outra dificuldade encontrada na realização dos pré-cortes foi a de proceder à realização dos mesmos com dimensões de 50 mm x 50 mm. Contudo, após realização dos ensaios as arestas foram medidas e as verdadeiras dimensões foram utilizadas na interpretação dos resultados.

Durante a realização dos ensaio de arrancamento foram identificadas zonas em que a cortiça se desagregava facilmente e outras em que apareciam resíduos no interior da mesma. A figura 4.14 ilustra a desagregação da cortiça bem como resíduos encontrados na mesma.



(a)

Desagregação da cortiça.



(b)

Resíduos presentes na cortiça.

Fig.4.14 – Problemas da cortiça da parede A.

## 4.5. RESULTADOS

O presente capítulo pretende ser uma apresentação dos resultados dos ensaios de arrancamento por tracção realizados no âmbito deste trabalho. Desta forma encontra-se dividido em três outros capítulos: normas de ensaio, resultados experimentais e análise e discussão de resultados.

### 4.5.1. NORMAS DE ENSAIO

O capítulo denominado por *Normas de Ensaio* pretende enunciar algumas normas que tratam o ensaio em questão. Aqui o estudo de cada norma é dirigido ao tratamento e interpretação dos resultados dos ensaios.

#### 4.5.1.1. ASTM D 4541-02

A norma ASTM D 4541-02: *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers* indica, como forma de calcular a tensão de rotura, o recurso ao gráfico de calibração fornecido pelo fabricante ou fórmula (4.1).

$$X = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} \quad (4.1)$$

Onde:

X – Tensão de rotura, em [MPa];

F – Força máxima aplicada à superfície de ensaio, em [N];

d – Diâmetro equivalente da superfície original, em [mm].

Relativamente a mecanismos de rotura é proposto um sistema de identificação no qual as camadas são representadas por letras. Desta forma, a camada A diz respeito ao suporte e as sucessivas camadas recebem as letras B, C, D, etc. O produto de colagem é designado pela letra Y e a pastilha metálica

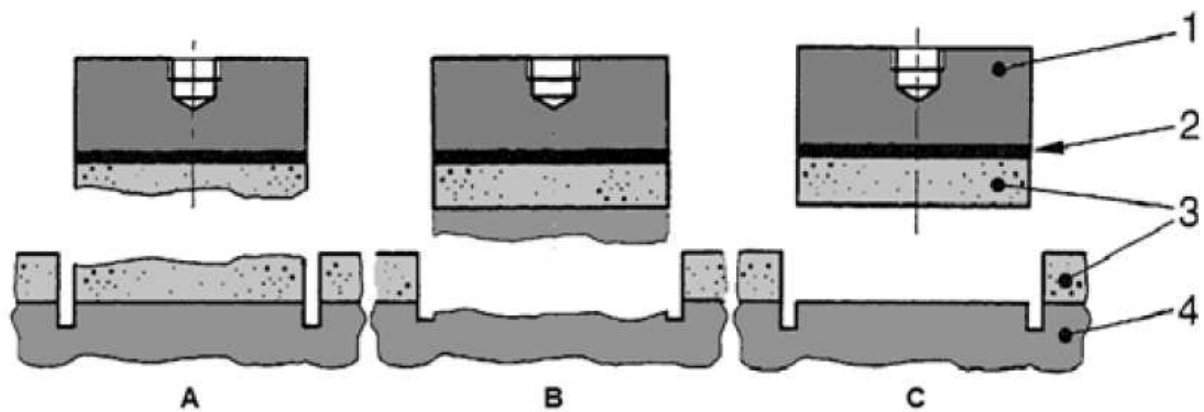
pela letra Z. Deste modo, as roturas adesivas são designadas pela interface em que ocorrem como A/B, B/C, C/D, etc.

Qualquer teste em que a rotura do produto de colagem das pastilhas represente mais de 50% da superfície de rotura deve ser ignorado.

#### 4.5.1.2. EN 1015-12 e Recomendação RILEM MDT.D.3

Segundo a norma EN 1015: *Methods of test for mortar for masonry* e concretamente a Parte 12: *Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrate* os resultados individuais da resistência de aderência  $f_u$  são obtidos pelo quociente entre a força de rotura ( $F_u$ ) e a área de rotura ( $A$ ). Os valores individuais de aderência devem ser arredondados ao múltiplo de  $0,05 \text{ N/mm}^2$  mais próximo. Com base no valor individual dos cinco ou mais provetes ensaiados é determinada a média arredondada ao múltiplo de  $0,1 \text{ N/mm}^2$  mais próximo, constituindo este valor o resultado do ensaio.

Segundo esta norma, o padrão de rotura deverá ser registado juntamente com o valor individual do ensaio existindo três padrões de rotura ilustrados na figura 4.15.



A – Rotura coesiva da argamassa; B – Rotura coesiva do suporte; C – Rotura adesiva

1 – Patilha metálica; 2 – Produto de colagem; 3 – Argamassa; 4 – Suporte

Fig.4.15 – Padrões de rotura (Adaptado de EN 1015-12:2000).

Quando a rotura é do tipo A ou B a aderência é superior ao valor obtido. Por sua vez, se a rotura é do tipo C, o resultado obtido é efectivamente a resistência de aderência.

A recomendação RILEM MDT.D.3: *Determination "in-situ" of adhesive strength of rendering and plastering mortars to their substrate* não propõe qualquer alteração à norma EN 1015-12 relativamente a resultados de ensaio.

## 4.5.1.3. ETAG 004

A ETAG 004: *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering* tem uma análise do tipo passa ou falha. Para passar, cada uma das interfaces do sistema ETICS deve garantir aderência igual ou superior à definida no quadro 4.1

Quadro 4.1 – Valores de referência para a tensão de aderência.

Interface	Referências ETAG
Camada de base/Isolamento térmico	0,08 N/mm <sup>2</sup> ou rotura pelo isolamento térmico
Camada adesiva/Suporte	0,25 N/mm <sup>2</sup> (seco)
	0,08 N/mm <sup>2</sup> (após imersão em água durante 2 horas)
	0,25 N/mm <sup>2</sup> (após imersão em água durante 7 dias)
Camada adesiva/Isolamento térmico	0,25 N/mm <sup>2</sup> (seco)
	0,03 N/mm <sup>2</sup> (após imersão em água durante 2 horas)
	0,25 N/mm <sup>2</sup> (após imersão em água durante 7 dias)

## 4.5.1.4. EN 1348

Segundo a norma EN 1348: *Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives*, os valores individuais da resistência de aderência devem ser determinados pelo quociente entre a força de rotura em newton e a área de rotura em milímetros quadrados. O resultado deste quociente deverá ter a precisão de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

O valor final do ensaio resulta de um tratamento dos valores individuais. Valores que se afastem de 20% em relação à média das dez medições efectuadas devem ser excluídos. Se, deste modo, o número restante de determinações for igual ou superior a cinco, o resultado do ensaio é a média desses valores. Contudo, se restarem menos de cinco determinações válidas o ensaio deve ser repetido.

Relativamente ao padrão de rotura, corresponde ao predominante nos arrancamentos individuais.

## 4.5.1.5. NP EN 12004

A norma NP EN 12004: *Colas para ladrilhos. Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação* aplica-se a colas para aplicações interiores e exteriores de ladrilhos cerâmicos em pavimentos, parede e tectos e define três padrões de rotura: adesiva (AF-S ou AF-T); coesiva na cola (CF-A) e coesiva no suporte ou no ladrilho (CF-S ou CF-T).

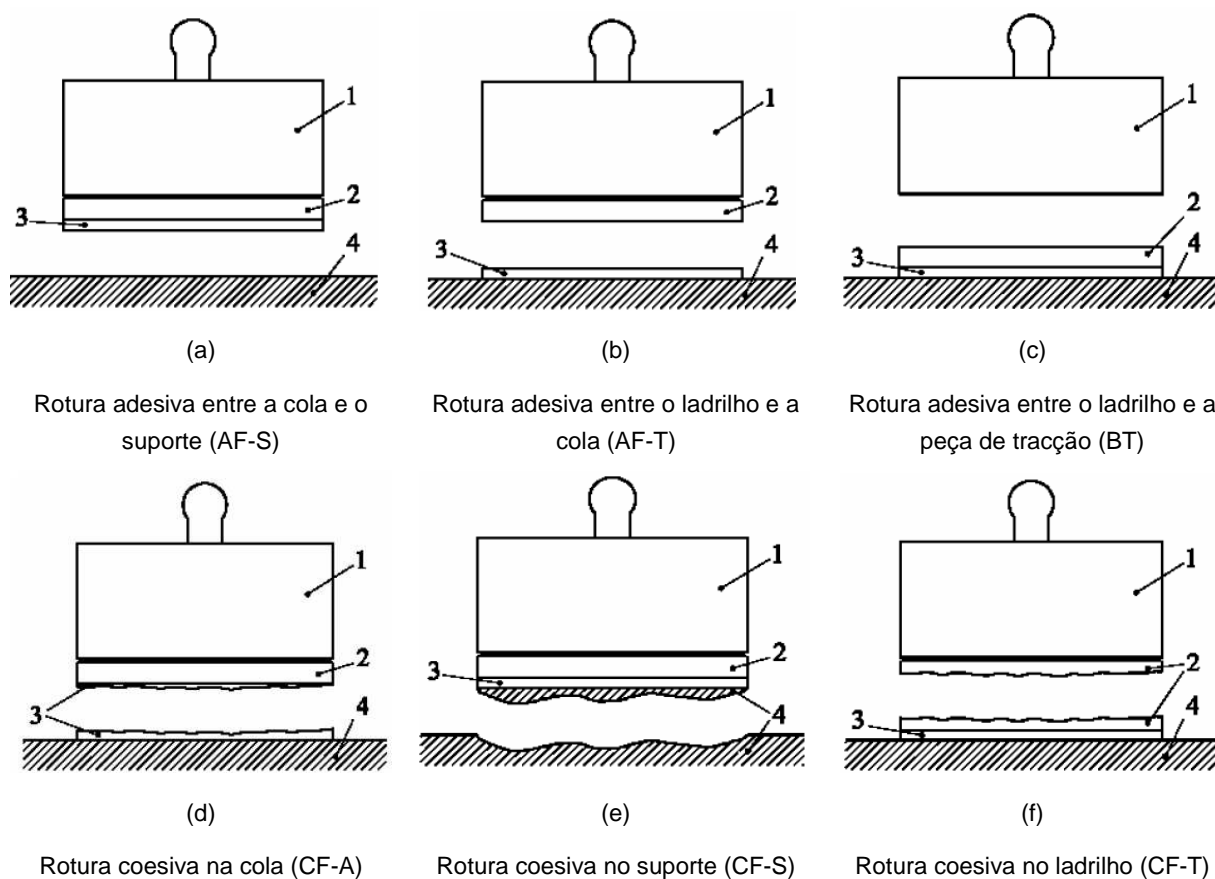


Fig.4.16 – Padrões de rotura (Adaptado de NP EN 12004:2008).

#### 4.5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

##### 4.5.2.1. Parede A

Quadro 4.2 – Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares.

Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>1</sub>	1962,5	110	0,056	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>2</sub>	1962,5	160	0,082	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>3</sub>	1962,5	120	0,061	80% Coesiva 20% Adesiva	Cortiça e interface cortiça/reboco
A <sub>4</sub>	1962,5	60	0,031	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>5</sub>	1962,5	70	0,036	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>6</sub>	1962,5	80	0,041	100% Coesiva	Cortiça



Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.17.

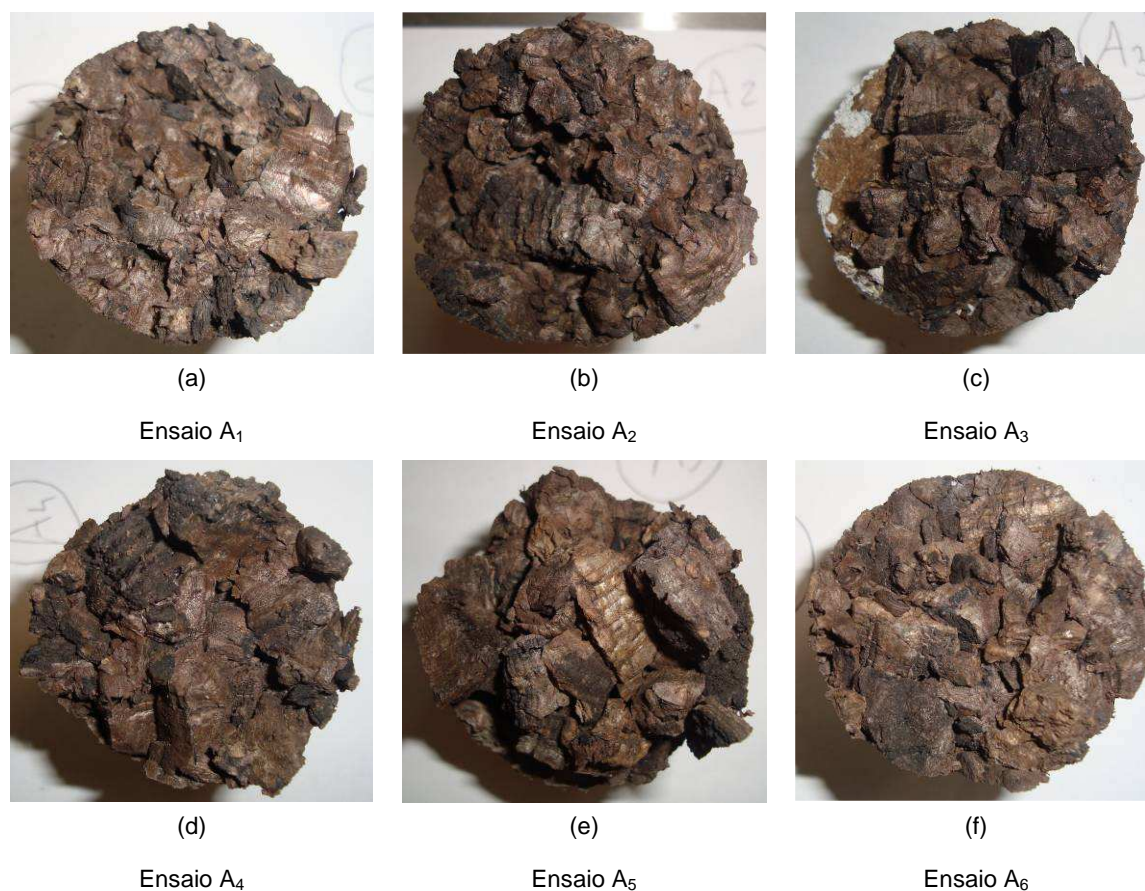


Fig.4.17 – Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares (A<sub>1</sub> a A<sub>6</sub>).

Sendo a parede A um sistema ETICS, ou seja, um sistema de isolamento exterior, a normalização seguida foi a ETAG 004. A ETAG define como valor mínimo para a tensão média de ruptura de arrancamento por tracção  $0,08\text{N/mm}^2$ . Esse valor é válido para rotura adesiva entre o isolamento térmico e o reboco delgado armado. Caso a rotura não se verifique nessa interface a normalização seguida admite rotura coesiva no isolamento térmico.

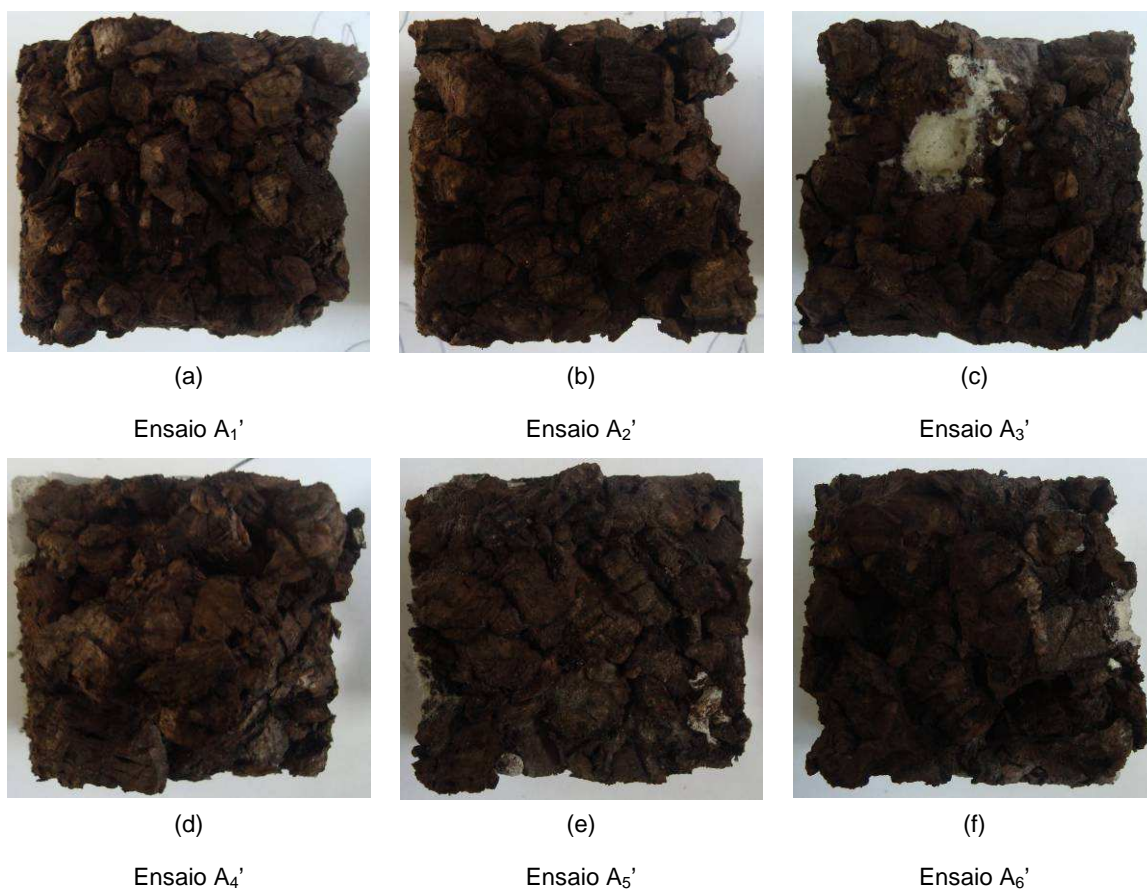
Apresentado uma rotura parcialmente adesiva entre o isolamento térmico, a cortiça, e o reboco delgado armado, o ensaio A<sub>3</sub> cuja tensão de rotura é de  $0,061\text{ N/mm}^2$  não cumpre o valor indicado pela ETAG. Todos os outros ensaios, ao apresentar exclusivamente rotura coesiva no isolamento térmico, cumprem o estabelecido pela ETAG 004.

O padrão de rotura predominante nos arrancamentos individuais é coesivo na cortiça.

Quadro 4.3 – Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.

Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>1</sub> '	3025	30	0,010	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>2</sub> '	2500	70	0,028	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>3</sub> '	3078	210	0,068	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>4</sub> '	2750	80	0,029	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>5</sub> '	2600	100	0,038	100% Coesiva	Cortiça
A <sub>6</sub> '	2700	90	0,033	100% Coesiva	Cortiça

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.18.

Fig.4.18 – Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas quadrangulares (A<sub>1</sub>' a A<sub>6</sub>').

Todos os ensaios, ao apresentar exclusivamente rotura coesiva no isolamento térmico, cumprem o estabelecido pela ETAG 004. Deste modo, o padrão de rotura predominante nos arrancamentos individuais é coesivo na cortiça.

Quadro 4.4 – Resultados dos ensaios de arrancamento sem pré-corte.

Ensaio	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>1</sub> "	110	0,056	100% Adesiva	Interface cola/reboco
A <sub>1</sub> "*	1550	0,790	100% Coesiva	Reboco
A <sub>2</sub> "	630	0,321	100% Adesiva	Interface cola/reboco
A <sub>2</sub> "*	1260	0,642	90% Coesiva 10% Adesiva	Reboco Interface cola/reboco
A <sub>3</sub> "	720	0,367	100% Adesiva	Interface cola/reboco
A <sub>3</sub> "*	1180	0,601	100% Coesiva	Reboco
A <sub>4</sub> "	1170	0,596	80% Coesivo 20% Adesiva	Reboco Interface cola/reboco
A <sub>5</sub> "	750	0,382	100% Adesiva	Interface cola/reboco
A <sub>6</sub> "	1270	0,647	70% Coesiva 30% Adesiva	Reboco Interface cola/reboco

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.19.



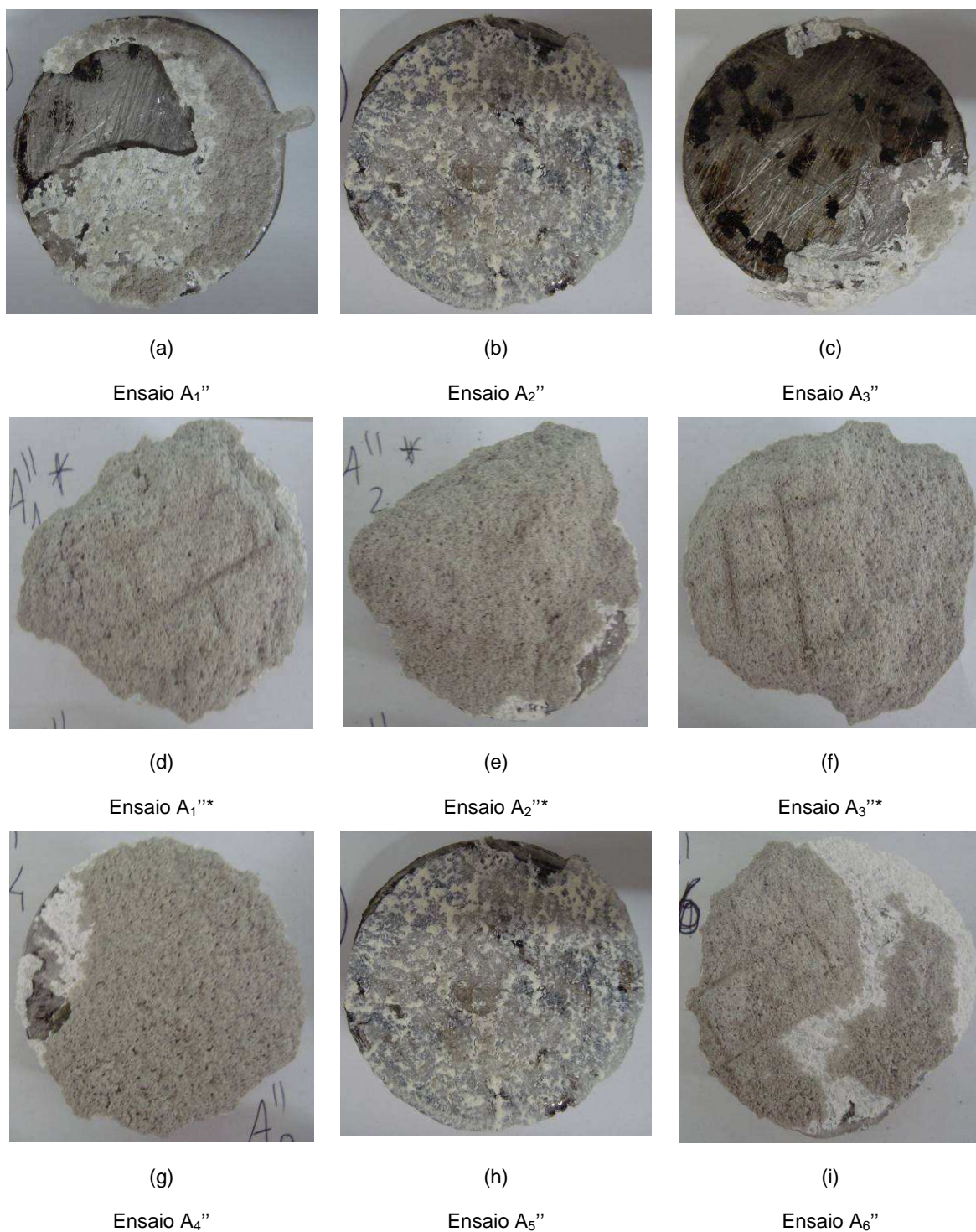


Fig.4.19 – Amostras referentes aos ensaios sem pré-corte (A<sub>1</sub>'' a A<sub>6</sub>'').

Os ensaios A<sub>1</sub>'', A<sub>2</sub>'' e A<sub>3</sub>'' não foram considerados para cálculo do resultado final pelo facto de terem sido realizados em menos de 24 horas após colagem, ou seja, em período de secagem da cola. Também o ensaio A<sub>5</sub>'' não foi considerado pelo facto da rotura do produto de colagem representar mais de 50% da superfície de rotura, representando, aliás, a totalidade da superfície de rotura. A rotura pelo produto de colagem no corpo de prova A<sub>5</sub>'' pode ser justificado pelo facto deste ter sido sujeito a

humidificação durante o tempo de cura da cola. Esta humidificação teve origem no ensaio de permeabilidade à água líquida que se estava a realizar simultaneamente.

De acordo com a norma ASTM D 4541-02, a camada base deve ser identificada pela letra A, a cortiça pela letra B, a rede metálica pela letra C, o reboco pela letra D, o produto de colagem pela letra Y e a pastilha metálica pela letra Z. Deste modo, o tipo de rotura de cada ensaio é apresentado no quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Tipo de rotura dos ensaios sem pré-corte na parede A.

Ensaio	Tipo de rotura
A <sub>1</sub> "	D/Y
A <sub>1</sub> "*	C/D
A <sub>2</sub> "	D/Y
A <sub>2</sub> "*	C/D e C/Y
A <sub>3</sub> "	D/Y
A <sub>3</sub> "*	C/D
A <sub>4</sub> "	C/D e D/Y
A <sub>5</sub> "	D/Y
A <sub>6</sub> "	C/D e D/Y

Os ensaios considerados válidos apresentam rotura na primeira interface, isto é, na interface reboco/rede metálica.

## 4.5.2.2. Parede B

Quadro 4.6 – Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares.

Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>7</sub>	1962,5	290	0,148	100% Coesiva	EPS
A <sub>8</sub>	1962,5	370	0,189	100% Coesiva	EPS
A <sub>9</sub>	1962,5	220	0,112	100% Coesiva	EPS
A <sub>10</sub>	1962,5	340	0,173	100% Coesiva	EPS
A <sub>10</sub> *	1962,5	310	0,158	60% Adesiva 40% Coesiva	Interface EPS/tijolo EPS
A <sub>11</sub>	1962,5	200	0,102	100% Coesiva	EPS
A <sub>12</sub>	1962,5	210	0,107	100% Coesiva	EPS

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.20.



Fig.4.20 – Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares (A<sub>7</sub> a A<sub>12</sub>).

O ensaio A<sub>10</sub> não foi considerado válido pelo facto da pastilha se encontrar fixada em posição incorrecta devido a deslocamentos originados pela força da gravidade durante o período de cura do produto de colagem. Contudo, esse ensaio, foi substituído pelo denominado como A<sub>10</sub>\*.

O tratamento dos dados sugeridos pela norma EN 1015-12 encontra-se ilustrado no quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Tratamento dos resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares.

Ensaio	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Resultado do ensaio (N/mm <sup>2</sup> )
A <sub>7</sub>	0,15	0,1
A <sub>8</sub>	0,20	
A <sub>9</sub>	0,10	
A <sub>10</sub> *	0,15	
A <sub>11</sub>	0,10	
A <sub>12</sub>	0,10	

As normas EN 998-1 e EN 1015-12, que apresentam especificações para argamassas, não definem qualquer valor para a resistência de aderência. Contudo, a norma francesa NF P 15-201 indica o valor de 0,3 MPa como mínimo para o valor resultante de ensaios de arrancamento, valor esse que é normalmente adotados. Segundo esta publicação nenhuma das determinações individuais deve ter resistência inferior a 0,2 N/mm<sup>2</sup>. A norma brasileira NBR 13749 bem como trabalhos elaborados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, nomeadamente por Veiga (2005), apontam igualmente esse valor.

Além da resistência de aderência apresentar um valor inferior a 0,3 MPa, com exceção do ensaio A<sub>8</sub>, todas as determinações individuais não cumprem o valor estipulado como mínimo para as mesmas, 0,2 N/mm<sup>2</sup>.

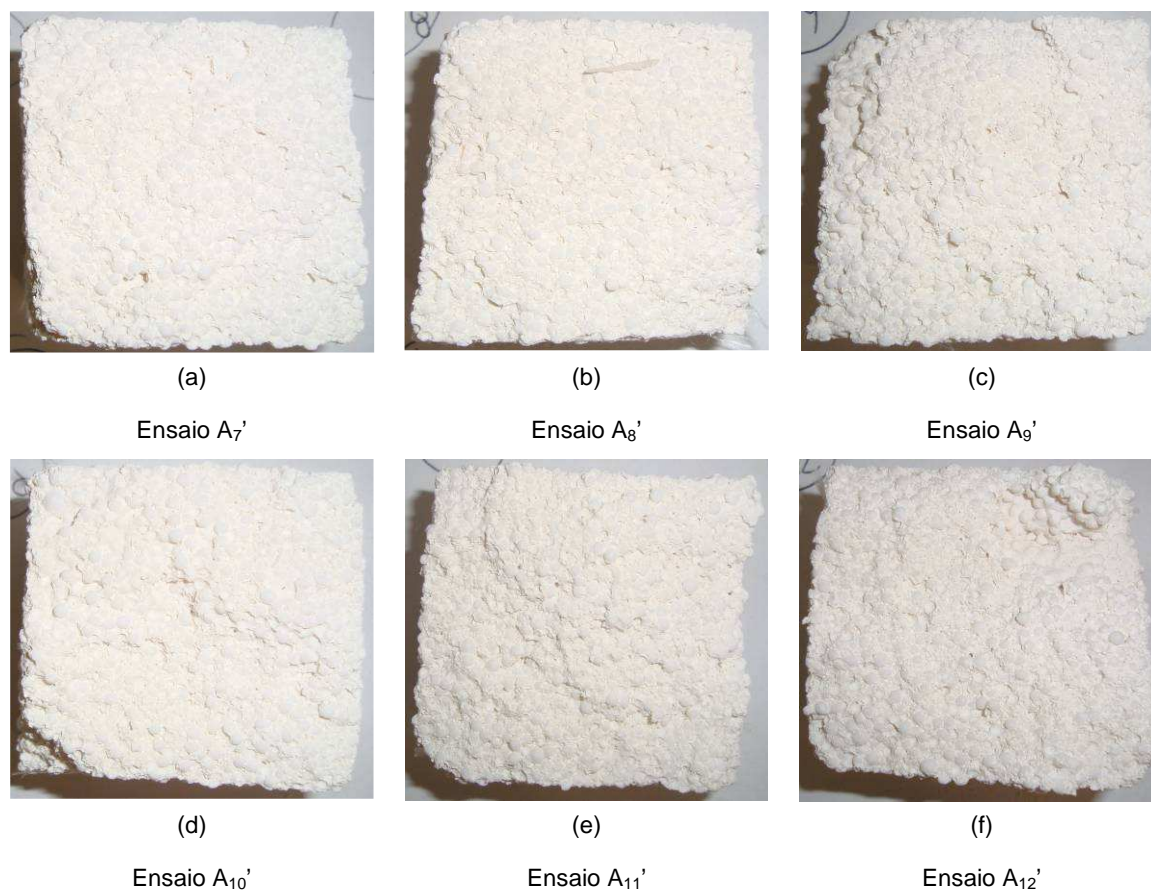
Relativamente ao padrão de rotura, a rotura predominante é a rotura coesiva na argamassa de EPS.

Quadro 4.8 – Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.

Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>7</sub> '	3025	560	0,185	100% Coesiva	EPS
A <sub>8</sub> '	3025	480	0,159	100% Coesiva	EPS
A <sub>9</sub> '	3074	480	0,156	100% Coesiva	EPS
A <sub>10</sub> '	2700	440	0,163	100% Coesiva	EPS
A <sub>11</sub> '	2970	470	0,158	100% Coesiva	EPS
A <sub>12</sub> '	3025	480	0,159	100% Coesiva	EPS

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.21.



Fig.4.21 – Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas quadrangulares (A<sub>7</sub>' a A<sub>12</sub>').

O tratamento dos dados sugeridos pela norma EN 1015-12 encontra-se ilustrado no quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Tratamento dos resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.

Ensaio	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Resultado do ensaio (N/mm <sup>2</sup> )
A <sub>7</sub> '	0,20	0,2
A <sub>8</sub> '	0,15	
A <sub>9</sub> '	0,15	
A <sub>10</sub> '	0,15	
A <sub>11</sub> '	0,15	
A <sub>12</sub> '	0,15	

Além da resistência de aderência apresentar um valor inferior a 0,3 MPa, com exceção do ensaio A<sub>7</sub>', todas as determinações individuais não cumprem o valor estipulado como mínimo para as mesmas, 0,2 N/mm<sup>2</sup>.

Relativamente ao padrão de rotura, a rotura predominante é a rotura coesiva na argamassa de EPS.

Quadro 4.10 – Resultados dos ensaios de arrancamento sem pré-corte.

Ensaio	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>7</sub> "	650	0,331	100% Adesiva	Interface cola/reboco
A <sub>8</sub> "	890	0,454	60% Adesiva 40% Coesiva	Interface cola/reboco Reboco
A <sub>9</sub> "	690	0,352	75% Coesiva 25% Adesiva	Reboco Interface cola/reboco
A <sub>10</sub> "	870	0,443	100% Coesiva	Reboco
A <sub>11</sub> "	770	0,392	85% Adesiva 15% Coesiva	Interface cola/reboco Reboco
A <sub>12</sub> "	930	0,474	100% Coesiva	Reboco

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.22.

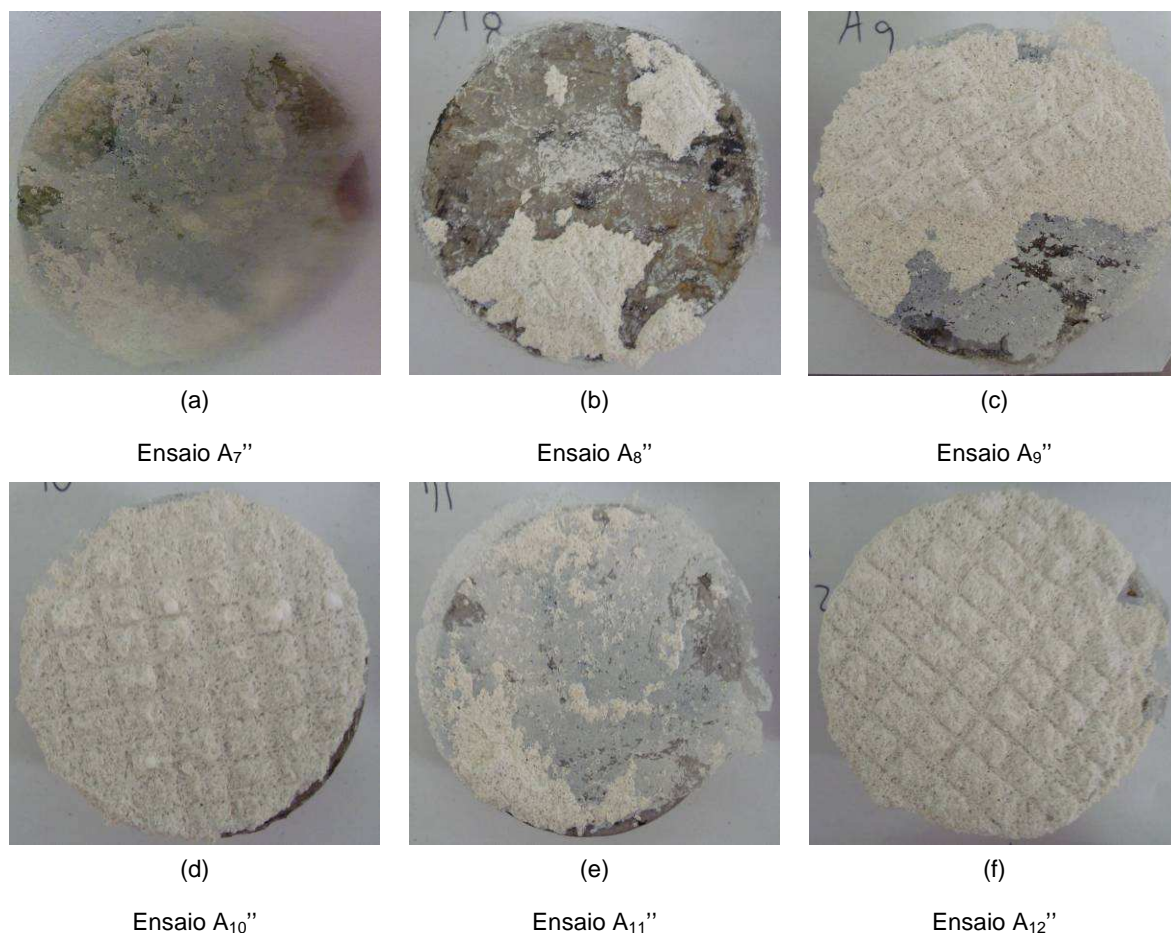


Fig.4.22 – Amostras referentes aos ensaios sem pré-corte (A<sub>7</sub>'' a A<sub>12</sub>'').

Os ensaios A<sub>7</sub>'' não foi considerado para cálculo do resultado final pelo facto de ter sido realizados em menos de 24 horas após colagem, ou seja, em período de secagem da cola. Também os ensaios A<sub>8</sub>'' e A<sub>11</sub>'' não foram tomados em consideração pois a rotura do produto de colagem representa mais de 50% da superfície de rotura.

De acordo com a norma ASTM D 4541-02 a camada base deve ser identificada pela letra A, a argamassa de EPS pela letra B, a rede de fibra de vidro pela letra C, a argamassa de acabamento pela letra D, o produto de colagem pela letra Y e a pastilha metálica pela letra Z. Deste modo, o tipo de rotura de cada ensaio é apresentado no quadro 4.11.



Quadro 4.11 – Padrão de rotura dos ensaios sem pré-corte realizados na parede B.

Ensaio	Tipo de rotura
A <sub>7</sub> "	D/Y
A <sub>8</sub> "	D/Y e C/D
A <sub>9</sub> "	C/D e D/Y
A <sub>10</sub> "	C/D
A <sub>11</sub> "	D/Y e C/D
A <sub>12</sub> "	C/D

Os ensaios considerados válidos apresentam rotura na argamassa armada com rede de fibra de vidro, precisamente na interface desta argamassa com a rede, ou seja, na primeira interface encontrada.

#### 4.5.2.3. Parede C

Quadro 4.12 – Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas circulares.

Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>13</sub>	1962,5	300	0,153	100% Coesiva	EPS
A <sub>14</sub>	1962,5	190	0,097	100% Coesiva	EPS
A <sub>15</sub>	1962,5	240	0,122	100% Coesiva	EPS
A <sub>16</sub>	1962,5	200	0,102	95% Adesiva 5% Coesiva	Interface camada base/EPS EPS
A <sub>17</sub>	1962,5	220	0,112	100% Adesiva	Interface camada base/EPS

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.23.



(a)

Ensaio A<sub>13</sub>



(b)

Ensaio A<sub>14</sub>



(c)

Ensaio A<sub>15</sub>



(d)

Ensaio A<sub>16</sub>



(e)

Ensaio A<sub>17</sub>

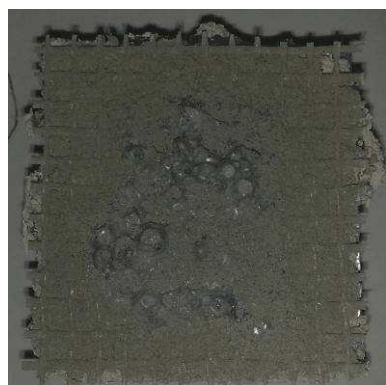
Fig.4.23 – Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares (A<sub>13</sub> a A<sub>17</sub>).

O ensaio A<sub>14</sub> apresenta um valor para a força de tracção e, consequentemente, para a tensão de rotura, um pouco inferior aos verificados nos restantes ensaios pois foi realizado sobre uma emenda da armadura em rede de fibra de vidro.

Quadro 4.13 – Resultados dos ensaios de arrancamento com pré-corte e pastilhas quadrangulares.

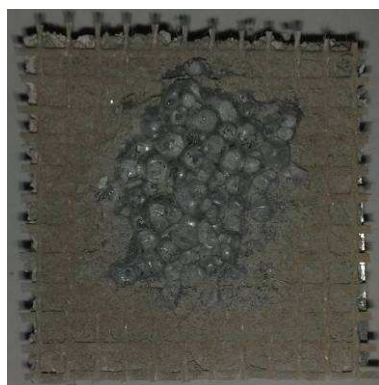
Ensaio	Área (mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de rotura	Local da rotura
A <sub>13</sub> '	2500	170	0,068	100% Adesiva	Interface camada base/EPS
A <sub>14</sub> '	2600	110	0,042	40% Coesiva 60% Adesiva	EPS e interface camada base/EPS
A <sub>15</sub> '	2550	150	0,059	100% Adesiva	Interface camada base/EPS
A <sub>16</sub> '	2750	50	0,018	100% Adesiva	Interface camada base/EPS
A <sub>17</sub> '	2704	130	0,048	35% Coesiva 65% Adesiva	EPS e interface camada base/EPS

Foram fotografados todos os ensaios realizados apresentando-se essas fotografias compiladas na figura 4.24.



(a)

Ensaio A<sub>13</sub>'



(b)

Ensaio A<sub>14</sub>'



(c)

Ensaio A<sub>15</sub>'



(d)

Ensaio A<sub>16</sub>'



(e)

Ensaio A<sub>17</sub>'

Fig.4.24 – Amostras referentes aos ensaios com pré-corte e pastilhas quadrangulares (A<sub>13</sub>' a A<sub>17</sub>').

Sendo a parede C1 um sistema ETICS, ou seja, um sistema de isolamento exterior, a normalização seguida foi a ETAG 004. A ETAG define como valor mínimo para a tensão média de ruptura de arrancamento por tracção 0,08N/mm<sup>2</sup>. Esse valor é válido para rotura adesiva entre o isolamento

térmico e o reboco delgado armado. Caso a rotura não se verifique nessa interface a normalização seguida admite rotura coesiva no isolamento térmico.

Quadro 4.14 – Tensão média de rotura vs tensão recomendada.

Ensaio	Tensão média de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tensão recomendada ETAG 004	Verificação
A <sub>16</sub> e A <sub>17</sub>	0,107	0,08	OK
A <sub>13</sub> ' a A <sub>17</sub> '	0,047	0,08	KO

Os ensaios A<sub>13</sub>, A<sub>14</sub> e A<sub>15</sub> não foram contabilizados para a referida tabela uma vez que a sua ruptura foi exclusivamente coesiva pelo isolamento térmico, o que por si só é garantia do cumprimento do estabelecido na ETAG 004.

Os ensaios realizados com pastilhas e pré-corte circulares apresentam valor de aderência superior ao recomendado pela ETAG 004, cumprindo-a. Contudo, os ensaios que seguem as especificações do tipo de provete indicado pela mesma ETAG (pastilhas e pré-corte quadrangulares) apresentam resultados não satisfatórios.

Relativamente ao padrão de rotura, os ensaios realizados com pastilhas circulares apresentam, maioritariamente, rotura coesiva pelo isolamento, EPS. Por sua vez, os ensaios realizados com pastilhas quadrangulares apresentam rotura adesiva entre a camada base e o isolamento térmico, EPS.

#### 4.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A execução de ensaios de arrancamento exige um determinado grau de experiência por parte do operador, sem a qual facilmente se obtêm resultados falseados. O operador tem uma participação significativa na realização do ensaio. Aquando do arrancamento propriamente dito, o operador deve manter o equipamento imóvel sendo que este é pesado e o ensaio pode demorar alguns minutos. A posição de alguns provetes pode levar ainda a que o ensaio seja realizado em posições desconfortáveis dificultando ainda mais o trabalho do operador.

A fiabilidade dos resultados em ensaios com pré-corte quadrangular pode ser colocada em causa pelo facto de existir uma forte possibilidade dos vértices dos quadrados se deteriorarem durante a execução dos pré-cortes. Esta deterioração implica uma diminuição da área a ser traccionada e consequentemente leva a uma tensão de rotura de cálculo superior. Contudo, esta possibilidade de se deteriorarem os vértices dos quadrados é menor nos casos em estudo do que em estudos onde se utilizaram pré-cortes quadrangulares associados a pastilhas circulares.

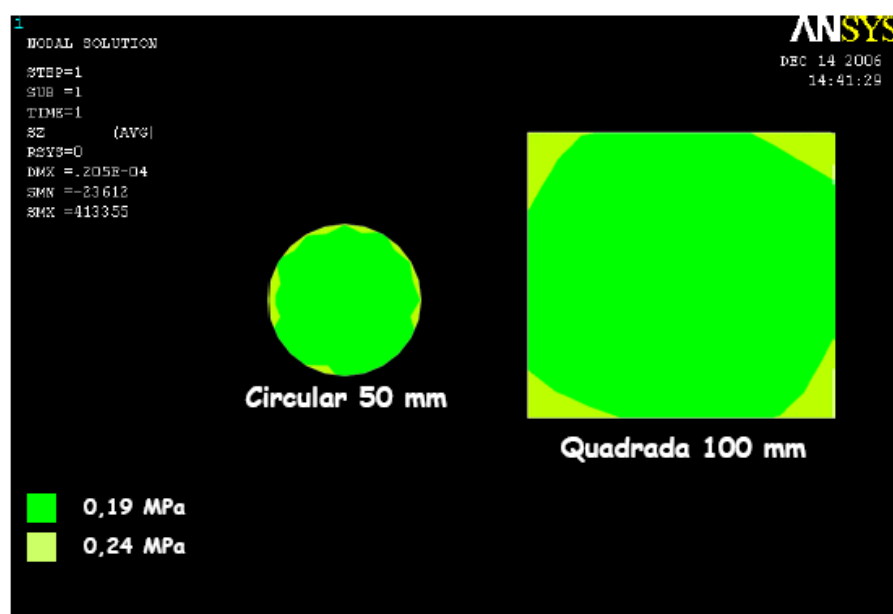
Associada à exposição dos resultados experimentais, isto é, ao capítulo 4.5.2, encontra-se um a breve interpretação dos mesmos. Contudo, essa interpretação tem um carácter muito particular e, por isso, neste capítulo, pretende-se apresentar uma análise dos resultados cujo objectivo é a comparação entre os mesmos para os três tipos de ensaios realizados (com pré-corte circular, com pré-corte quadrangular e sem pré-corte) e para os três tipos de provetes ensaiados (paredes A, B e C1).

A fim de facilitar a leitura de resultados são apresentados, no quadro 4.15, todos os valores da tensão de rotura obtidos em ensaios considerados válidos.

Quadro 4.15 – Tensão de rotura dos vários provetes ensaiados e respectivos desvio padrão.

	Parede A			Parede B			Parede C1	
	C/ pré-corte circular	C/ pré-corte quadrangular	S/ pré-corte (pastilhas circulares)	C/ pré-corte circular	C/ pré-corte quadrangular	S/ pré-corte (pastilhas circulares)	C/ pré-corte circular	C/ pré-corte quadrangular
Tensão de rotura dos ensaios válido (N/mm <sup>2</sup> )	0,056	0,010	0,790	0,148	0,185	-	0,153	0,068
	0,082	0,028	0,642	0,189	0,159	-	0,097	0,042
	0,061	0,068	0,601	0,112	0,156	0,352	0,122	0,059
	0,031	0,029	0,596	0,158	0,163	0,443	0,102	0,018
	0,036	0,038	-	0,102	0,158	-	0,112	0,048
	0,041	0,033	0,647	0,107	0,159	0,472	-	-
Tensão Média	<b>0,051</b>	<b>0,034</b>	<b>0,655</b>	<b>0,136</b>	<b>0,163</b>	<b>0,422</b>	<b>0,117</b>	<b>0,047</b>
Desvio Padrão	0,019	0,019	0,079	0,035	0,011	0,063	0,022	0,019

Analizando as duas geometrias e dimensões testadas para as pastilhas e consequentemente para provetes<sup>6</sup>, pode-se verificar que levam a valores distintos para a tensão de aderência. Costa *et al.* (2009) num estudo semelhante ao desenvolvido neste trabalho, apresenta resultados da modelagem computacional para provetes circulares e quadrangulares com Ø50 e 100 mm x 100 mm, respectivamente, resultado esse visível na figura 4.25. Embora a dimensão das pastilhas quadrangulares difira, o que se verifica é o mesmo fenómeno, ou seja, uma concentração de tensões nas extremidades dos provete quadrangular.

Fig.4.25 – Distribuição de tensões para corpos de prova com diferentes geometrias e dimensões (Costas *et al.*, 2007).

<sup>6</sup> Proвете, neste sentido, não se refere às paredes (A, B e C1) mas a conjunto de pastilha e amostra arrancada da respectiva parede.

De forma a explicar a concentração de tensões nos cantos do provete quadrangular pode-se fazer uma comparação a uma barra quadrangular sujeita a torção. Segundo Beer e Johnston Júnior (1996) as secções transversais deste tipo de barras não se mantêm planas, ou seja, ao serem sujeitas à torção perdem a forma inicial o que provoca um endurecimento nos cantos e elevadas tensões. No entanto, se a mesma barra possui secção circular, todas as secções transversais mantêm-se planas e conservam a sua forma.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam, em parte, a tendência dos provetes circulares apresentarem maiores valores de resistência de aderência em relação aos quadrangulares, tendência essa verificada também por Costa *et al* (2009). Esta tendência justifica-se porque provetes circulares apresentam menores valores de tensão na superfície de ensaio e não possuem concentração destas nos bordos. Os valores para a resistência de aderência na parede A obtidos com provetes quadrangulares são, em média, 50% inferiores aos obtidos com os circulares. Contudo verificam-se resultados individuais que contrariam a situação sendo que, nesses casos, os valores de resistência obtidos com os provetes quadrangulares são, aproximadamente, 9% superiores aos outros. Por sua vez, na parede C a tendência dos provetes circulares apresentarem maiores valores de resistência de aderência em relação aos quadrangulares é, em todos os resultados individuais, verificada. Resultados experimentais semelhantes também foram encontrados por Gonçalves (2004), com uma diferença de 58% da resistência de aderência para as duas geometrias.

Contrariamente ao pressuposto, a parede B apresenta provetes quadrangulares com resistência superior em 20% à dos provetes circulares. Esta excepção faz ponderar a hipótese de, em certos materiais como o reboco térmico analisado, não se verificar o fenómeno de concentração de tensões nos cantos dos provetes quando estes assumem forma quadrangular.

A fim de analisar a adequabilidade das diferentes particularidades de ensaio, nomeadamente, geometria das pastilhas e pré-corte, são apresentados de seguida gráficos onde se relacionam as tensões médias de rotura com o desvio padrão dos resultados individuais para os diferentes provetes ensaiados (paredes A, B e C1) e para as diferentes particularidades consideradas (pastilhas e pré-corte circular, pastilhas e pré-corte quadrangular e pastilhas circulares sem pré-corte).

O indicador de fiabilidade adoptado neste estudo é o desvio padrão,  $dp$ , que é calculado a partir de uma amostra e mede o grau de dispersão dos resultados em torno da média. A fórmula (4.2) representa o cálculo efectuado, em que  $x$  é o valor médio da amostra e  $n$  a sua dimensão.

$$dp = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (4.2)$$

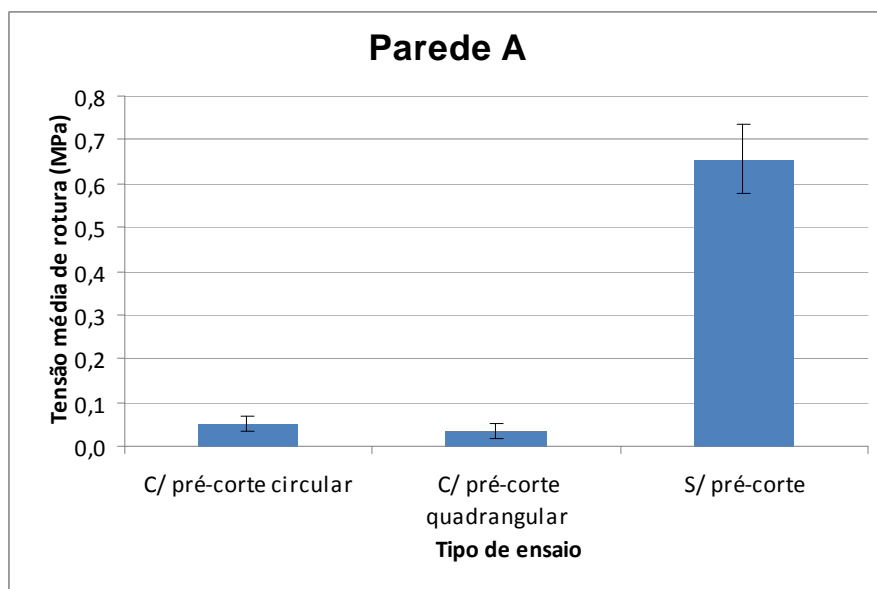


Fig.4.26 – Tensão média de rotura para os diferentes ensaios realizados sobre a parede A e respectivo desvio padrão.

Na parede A, como anteriormente referido, são encontrados valores para a resistência de aderência superiores quando utilizados pastilhas e pré-cortes circulares. Contudo, o desvio padrão para ensaios com pré-corte circular e quadrangular assume o mesmo valor.

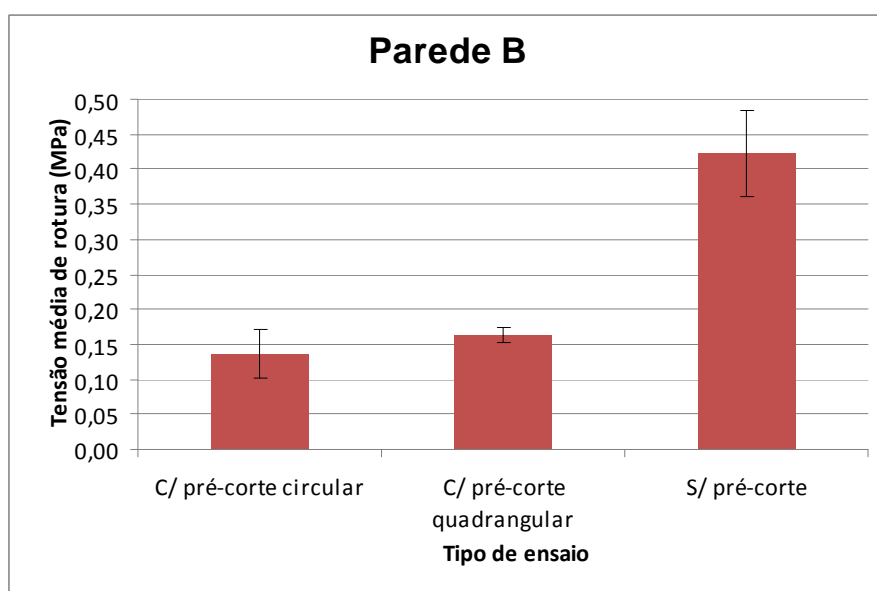


Fig.4.27 – Tensão média de rotura para os diferentes ensaios realizados sobre a parede B e respectivo desvio padrão.



Na parede B, além dos ensaios de arrancamento por tracção com pastilhas e pré-cortes quadrangulares levarem a tensões de rotura superiores do que os ensaios de arrancamento por tracção com pastilhas e pré-cortes circulares, os primeiros ainda apresentam um desvio padrão inferior.

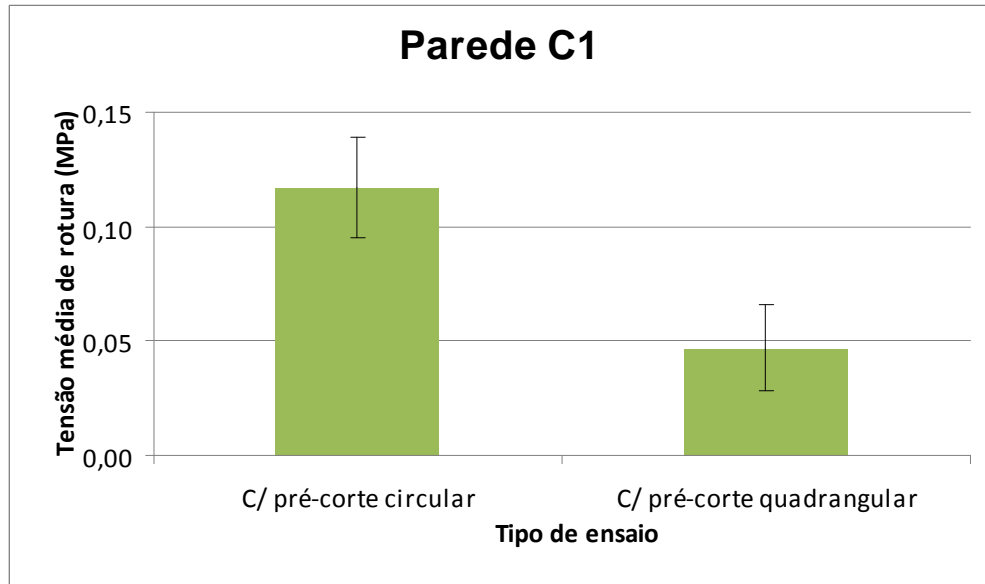


Fig.4.28 – Tensão média de rotura para os diferentes ensaios realizados sobre a parede C1 e respectivo desvio padrão.

Na parede C1, como anteriormente referido, são encontrados valores para a resistência de aderência superiores quando utilizados pastilhas e pré-corte circulares. Contudo, o desvio padrão para ensaios com pré-corte quadrangular é inferior ao desvio padrão para ensaios com pré-corte circular sendo igual ao dos ensaios com pré-cortes circulares e quadrangulares realizados sobre a parede A, como é visível na figura 4.29.

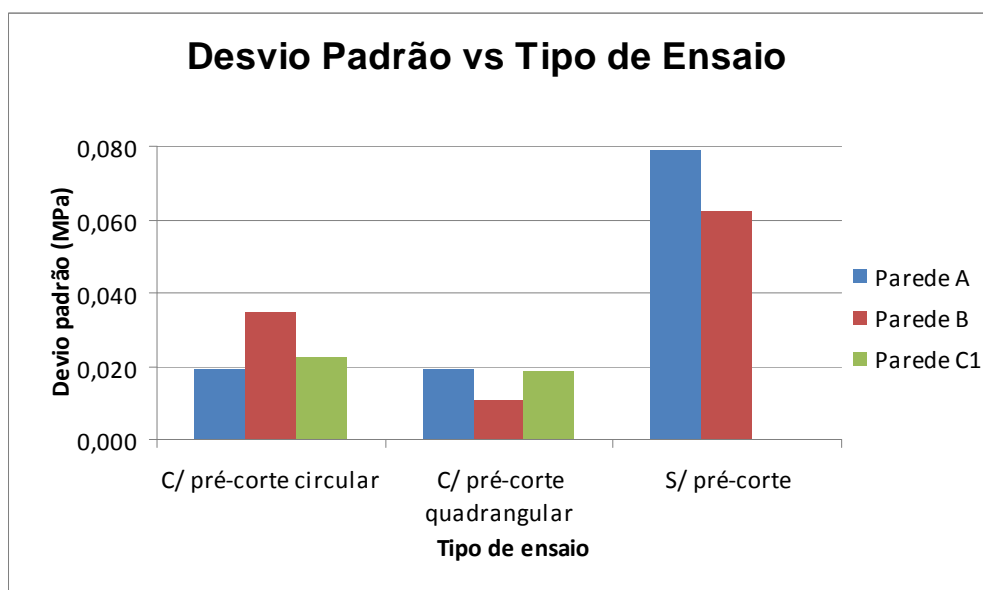


Fig.4.29 – Desvio padrão para as diferentes particularidades de ensaio e diferentes provetes ensaiados.

Relativamente aos ensaios de arrancamento por tracção sem pré-corte, os mesmos só se realizaram nas paredes A e B. Como esperado, a resistência de aderência encontrada nestes ensaios é superiores à encontrada com ensaios de arrancamento com pré-corte sendo essa superioridade de aproximadamente 13 vezes na parede A e de 3 vezes na parede B (comparação feita com os ensaios com pré-corte e pastilhas circulares). Também o desvio padrão deste tipo de ensaios é superior ao dos ensaios com pré-corte e pastilhas circulares, contudo, sendo que o desvio padrão depende da média e as duas distribuições (tensão de rotura para ensaios com pré-corte e pastilhas circulares e tensão de rotura para ensaios sem pré-corte e pastilhas circulares) têm médias diferentes, o desvio dessas duas variáveis não deve ser comparado. Surge, como alternativa, a comparação do coeficiente de variação que é uma medida de dispersão que possibilita a comparação de distribuições diferentes e que é igual ao desvio padrão a dividir pela média, como apresentado na equação (4.3).

$$\text{Coeficiente de variação} = \frac{\text{Desvio padrão}}{\text{Média}} \times 100 \quad (4.3)$$

Quadro 4.16 – Coeficiente de variação.

	Parede A		Parede B	
	C/ pré-corte	S/ pré-corte	C/ pré-corte	S/ pré-corte
Coeficiente de variação (%)	12,1	37,3	14,9	25,7

Assim, os ensaios com pastilhas e pré-corte circulares apresentam, em ambas as paredes (A e B), coeficiente de variação superior ao dos ensaios sem pré-corte. Sendo essa superioridade de, aproximadamente, 3 vezes na parede A e de 1,7 vezes na parede B.

Analisando ainda as informações expostas no capítulo 4.5.2, verifica-se que todos os ensaios sem pré-corte apresentam rotura pela primeira interface encontrada. Durante a aplicação da força de tracção o provete vai rompendo pelos pontos mais frágeis e assim os provetes assumem uma geometria irregular, durante a rotura destes provetes define-se as superfícies de rotura horizontais mas também as verticais, que no caso dos ensaios com pré-corte já se encontram definidas pelo próprio pré-corte.

Uma vez que não se encontram presentes em normalização valores de referência para a resistência de aderência obtidos com ensaios sem pré-corte, a análise dos valores obtidos nos ensaios desenvolvidos neste estudo não é efectuada nesse sentido. Os valores destes ensaios não podem ser comparados a valores de referência indicados pelas normas referentes a ensaios com pré-corte.

# 5

## ENSAIO DE CHOQUE DE ESFERA

### 5.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO

A degradação física do revestimento de uma parede é não só esteticamente pejorativa como pode vir a gerar patologias maiores. Deste modo, a resistência mecânica é requisito imposto a revestimentos de modo a que as paredes cumpram um conjunto de exigências.

A resistência mecânica dos revestimentos ao choque duro (cortante ou não cortante), à degradação e à riscagem é analisada pelos ensaios de choque de esfera, de quadriculagem, de riscagem, de abrasão e verificação do comportamento após humedificação.

A acção de impacto conduz à degradação precoce do revestimento, em determinadas condições de serviço. Deste modo, os revestimentos devem resistir a impactos sem perder a planeza ou fissurarem, ou seja, sem deterioração significativa (Flores-Colen, 2009).

A resistência ao choque de corpos duros é característica própria de cada material ou sistema a ensaiar e, em função dessa característica, o material ou sistema deve ser aplicado em zonas apropriadas, ou seja, zonas com diferentes probabilidades de exposição a esse tipo de agressão mecânica. Os revestimentos com maior resistência ao choque de corpo duro podem ser aplicados sobre o paramento a cotas inferiores. A diferente disposição dos revestimentos em função da sua resistência mecânica pode ser vista em vários edifícios, tais como na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).



(a)

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.



(b)

Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Fig.5.1 – Diferente posicionamento dos revestimentos em função do grau de exposição ao choque.

Porém, mesmo aplicados a cotas superiores da fachada, muitas vezes, os revestimentos com menor resistência ao choque de corpo duro, apresentam degradações provocadas por impactos mais fortes, nomeadamente choques que resultam da ocupação e circulação normais, como sejam as que decorrem da mobilidade dos utentes e das operações correntes de limpeza ou de manutenção.



Fig.5.2 – Pilar da FEUP com isolamento térmico à vista devido a impacto de corpo rígido.

A avaliação da resistência ao impacto de corpos duros é feita através de ensaios de resistência ao impacto de uma esfera de aço, destacando-se a técnica de ensaio *in situ* *Martinet Baronnie* para a avaliação da resistência superficial de rebocos aplicados em fachadas.

Assim, a medição da resistência ao choque de esfera é um ensaio que pode ser útil para:

- Avaliar o desempenho do revestimento para aplicação em determinada localização;
- Avaliar o respeito de todas as exigências feitas ao produto;
- Avaliar a capacidade do revestimento de providenciar a segurança no uso;
- Avaliar a degradação provocada pelo choque, em termos físicos e visuais;

— Controlar, de forma rápida, a conformidade dos trabalhos executados.

## 5.2. NORMAS DE ENSAIO

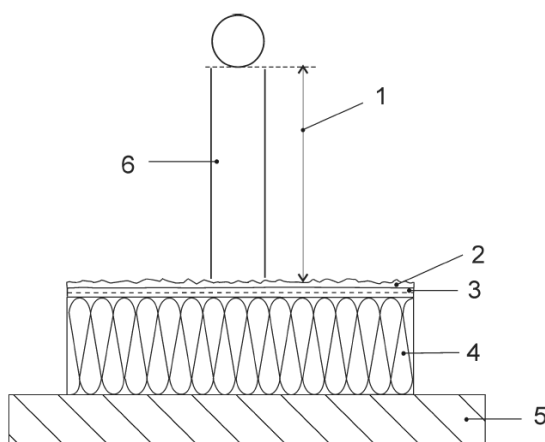
No presente capítulo são indicadas algumas normas que tratam o ensaio em questão e que, por isso, dão indicações relativas ao procedimento de ensaio. A reflexão sobre cada norma é, neste capítulo, apenas dirigida a particularidades do procedimento experimental.

### 5.2.1. EN 13497

A norma europeia EN 13497: *Thermal insulation products for building applications - Determination of the resistance to impact of external thermal insulation composite systems (ETICS)* especifica o equipamento e processo para determinação da resistência ao impacto em sistemas de isolamento pelo exterior. A resistência ao impacto é avaliada por meio da queda de uma esfera de aço sobre a superfície do ETICS e pela avaliação dos danos qualitativamente. Segundo a normalização presente, a esfera utilizada deve ter uma massa de  $(500 \pm 5)$  g e deve cair de uma altura de  $(408 \pm 1)$  mm de modo a que o choque possua uma energia de 2 J. Pode, contudo, ser utilizada uma esfera de 1 000 g e uma altura de queda de 1 020 mm produzindo assim um choque com 10 J de energia.

Esta norma, além da especificação do equipamento utilizado, faz referência às dimensões do provete que devem ser, no mínimo, de 200 mm x 200 mm x 60 mm.

Embora o princípio de ensaio seja semelhante, o equipamento referido por esta norma não é o *Martini Baronnier* mas sim um equipamento ilustrado na figura 5.3.



1-Altura para 2 ou 10 J (408 mm ou 1 020 mm); 2-Material de acabamento; 3-Argamassa de base armada; 4- Isolamento térmico; 6-Tubo vertical.

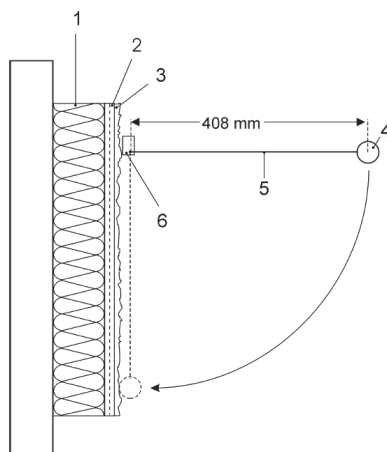
Fig.5.3 – Equipamento de determinação da resistência ao choque (EN 13497: 2002).

O número de testes realizados deve ter um mínimo de cinco e estes devem distar entre si e dos bordos do provete pelo menos 100 mm.

### 5.2.2. ISO 7892

A norma ISO 7892: *Vertical building elements – Impact resistance tests – Impact bodies and general test procedures* é referida na norma EN 13497 e distingue-se desta pelo facto do corpo rígido, a esfera, cair como um pêndulo sobre o provete disposto na posição de um quadro, ou seja, na vertical.

Trata-se, igualmente, de uma norma destinada ao estudo do comportamento do ETICS.



1-Isolamento térmico; 2-Camada base com reforço; 3-Material de acabamento; 4-Esfera de aço; 5-Fio de aço; 6-Dispositivo de fixação.

Fig.5.4 – Exemplo de um aparelho de teste para a resistência ao impacto de acordo com a ISO 7892 (EN 13497:2002).

### 5.2.3. LNEC FE PA 25

O texto técnico FE Pa 25: *Revestimentos de Paredes, Ensaio de choque de esfera* trata-se de uma ficha de ensaio datada de 1980 e da autoria do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

A ficha de ensaio em questão refere o *Martinet Baronnie* como equipamento de ensaio equipado com uma esfera como acessório. Como provetes são indicados muretes com dimensões não inferiores a 2 m x 2 m. O número de ensaios a realizar sobre cada murete deve ser, pelo menos, de cinco.

### 5.2.4. ETAG 004

A ETAG 004: *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering*, como referido no capítulo 4.2.4, trata-se de um guia para a aprovação técnica europeia que apresenta um conjunto de testes a que o ETICS deve ser sujeito de modo a demonstrar a sua aptidão para o uso. O ensaio de choque de esfera integra o conjunto de teste definido nesta ETAG.

O equipamento referido na ETAG 004 é o equipamento definido na ISO 7892 e esta ETAG indica duas variáveis do ensaio que diferem na energia produzida pelo impacto da esfera sobre o paramento. Desta forma, o choque deve possuir energia de 3 J ou 10 J. Para a energia de 3 J a esfera deve ter massa de 500 g e o braço do aparelho deve ser de 0,61 m. Por sua vez, para a energia de 10 J a esfera deve ter massa de 1 000 g e o braço do aparelho deve ser de 1,02 m.

A energia de impacto é calculada de acordo com a equação (5.1).

$$E_{imp} = E_p = g \times h \times m \quad (5.1)$$

Onde:

$E_{imp}$  – Energia de impacto igual à energia potencial ( $E_p$ ), em [J];

$g$  – Aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ), em [ $\text{m/s}^2$ ];

$h$  – Altura de queda do corpo em relação ao ponto de impacto, em [m];

$m$  – Massa do corpo, em [g].

Segundo esta ETAG, o número mínimo de ensaios a realizar sobre cada murete é de três.

### 5.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O primeiro passo para a realização dos ensaios de choque de esfera foi, tal como nos restantes ensaios mecânicos, a definição dos vários pontos a ensaio. De seguida passou-se ao posicionamento do aparelho *Martinet Baronnie* já com a esfera fixada na extremidade livre do braço. A esfera poderia estar polvilhada com a grafite mencionada no capítulo 3.3.2 ou não.

O corpo do *Martinet Baronnie* foi colocado na horizontal e aplicou-se firmemente a cabeça desse aparelho contra a superfície a ensaiar. O braço do aparelho foi mantido ao longo do corpo, encostando a esfera ao rolo existente no pé. Verificou-se a horizontalidade do aparelho a fim de que a trajectória descrita pelo braço ao tombar se fizesse no plano vertical. Deixou-se, por fim, tombar livremente o braço a fim de que se produzisse o impacto da esfera no murete mas de forma única, ou seja, sem que ocorressem outros impactos.



Fig.5.5 – Posicionamento do *Martinet Baronnie* na horizontal e contra a parede.



Fig.5.6 – Impacto do corpo rígido no provete após o pêndulo ser largado.

Como anteriormente mencionado, dentro do ensaio de choque de um corpo rígido existem variantes que diferem na energia produzida pelo impacto da esfera na parede vertical. No presente trabalho, só foi efectuado o impacto da esfera de 3 Joules.

Os ensaios de choque de esfera foram executados sobre os revestimentos das paredes A, B e C1. Deste modo, e como foram realizados cinco ensaios sobre cada revestimento, os ensaios possuem designações de  $E_1$  a  $E_{15}$ .

Todas as fases da realização dos ensaios encontram-se datadas e em anexo (Anexo: Calendarização real de tarefas laboratoriais).

#### 5.4. DIFICULDADES DO ENSAIO

Pelo facto de não se tratar de um ensaio de grande complexidade, as dificuldades encontradas na realização deste foram praticamente inexistentes. Poderá contudo apontar-se a dificuldade que existe em garantir que o tombo do braço do aparelho se desenvolve no plano vertical, uma vez que a massa significativa do aparelho exige algum esforço por parte do operador, para que este se mantenha na mesma posição durante a queda do braço.

#### 5.5. RESULTADOS

O presente capítulo pretende ser uma apresentação dos resultados dos ensaios de choque de esfera realizados no âmbito deste trabalho. Desta forma, encontra-se dividido em três outros capítulos: normas de ensaio, resultados experimentais e análise e discussão de resultados.

##### 5.5.1. NORMAS DE ENSAIO

O capítulo denominado por *Normas de Ensaio* pretende enunciar algumas normas que tratam o ensaio em questão. Aqui o estudo de cada norma é dirigido ao tratamento e interpretação dos resultados dos ensaios.



## 5.5.1.1. EN 13497 e ISO 7892

A norma europeia EN 13497: *Thermal insulation products for building applications - Determination of the resistance to impact of external thermal insulation composite systems (ETICS)* bem como a norma ISO 7892: *Vertical building elements – Impact resistance tests – Impact bodies and general test procedures* indicam que o resultado do ensaio é uma descrição dos danos provocados por este sobre o provete. Segundo esta norma são considerados danos situações como: reforço visível; material de acabamento ou camada base visivelmente danificadas; perfurações na camada base com o reforço.

## 5.5.1.2. LNEC FE Pa 25

A ficha de ensaio FE Pa 25: *Revestimentos de Paredes, Ensaio de choque de esfera*, dá indicações sobre a apresentação dos resultados mas não indica valores de referência.

Segundo esta ficha, o resultado dos ensaios exprime-se pelos diâmetros, em milímetros, das mossa resultantes dos cinco ensaios e pela respectiva média aritmética.

## 5.5.1.3. ETAG 004

A ETAG 004: *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering*, indica que devem ser registados os diâmetros e eventuais fendas provocados pelo embate da esfera de aço no paramento a fim de que estes registos sejam os resultados do ensaio. Contudo, esta normalização vai mais longe e classifica qualitativamente estes resultados. Esta classificação é válida apenas para sistemas ETICS já que é esse o domínio da especificação técnica.

Quadro 5.1 – Critérios de classificação do ETICS quanto à resistência ao choque.

Ensaio	Categoria I	Categoria II	Categoria III
Impacto de 3 joules	Sem deterioração. Presença apenas de danos superficiais. Sem fissuração.	Fissuração do reboco, sem “rachar”.	Fissuração circular (“cracking”) que atinja o isolamento térmico não ficando, contudo, este visível.
Impacto de 10 joules	Sem deterioração. Presença apenas de danos superficiais. Sem fissuração	Fissuração circular (“cracking”) que atinja o isolamento térmico não ficando, contudo, este visível.	—

## 5.5.1.4. Outras indicações técnicas

Segundo Thorogood (1978), toda a superfície vertical exterior não deve possuir alterações significativas na aparência quando sujeita a ensaios de choque de esfera de 3 e 10 J de energia. Por sua vez, segundo a EOTA (2003) painéis e paredes exteriores, se sujeitas a ensaios do mesmo tipo com energia de 3 ou 6 J, não devem apresentar penetração ou degradação visível. Por fim, fachadas de

edifícios quando sujeitas a ensaios de 3,75 J podem ser classificadas em dois níveis de degradação (ABNT, 2002), sendo eles:

- Nível mínimo: não ocorrência de falhas;
- Nível superior: não ocorrência de falhas e profundidade da massa inferior ou igual a 2 mm.

#### 5.5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Conforme o recomendado pela normalização referente, o diâmetro da massa e a eventual presença de fendas produzidas pelo impacto da esfera no provete foram registradas e fotografadas e são apresentados de seguida.

##### 5.5.2.1. Parede A

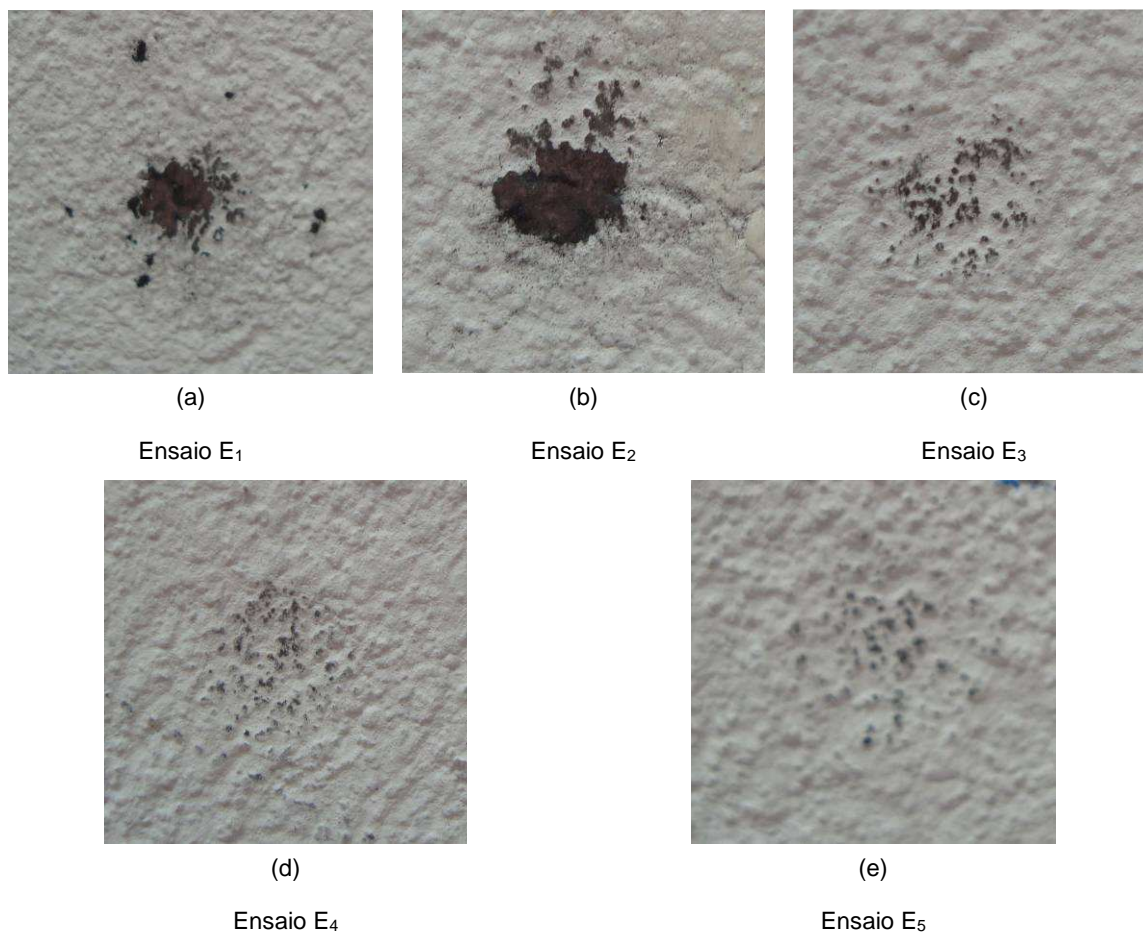


Fig.5.7 – Degradações provocadas na parede A pelo impacto de corpo rígido (esfera).

Quadro 5.2 – Resultados dos ensaios de choque de esfera sobre a parede A.

Ensaio	Diâmetro do impacto (cm)	Observações
E <sub>1</sub>	1,0	Sem fissuração. Presença de danos superficiais. Formação de uma pequena concavidade praticamente invisível a olho nu.
E <sub>2</sub>	1,0	
E <sub>3</sub>	1,0	
E <sub>4</sub>	1,0	
E <sub>5</sub>	1,0	

#### 5.5.2.2. Parede B



(a)

Ensaio E<sub>6</sub>



(b)

Ensaio E<sub>7</sub>



(c)

Ensaio E<sub>8</sub>



(d)

Ensaio E<sub>9</sub>



(e)

Ensaio E<sub>10</sub>

Fig.5.8 – Degradações provocadas na parede B pelo impacto de corpo rígido (esfera).

Quadro 5.3 – Resultados dos ensaios de choque de esfera sobre a parede B.

Ensaio	Diâmetro do impacto (cm)
E <sub>6</sub>	2,2
E <sub>7</sub>	2,0
E <sub>8</sub>	2,4
E <sub>9</sub>	2,0
E <sub>10</sub>	2,2

### 5.5.2.3. Parede C

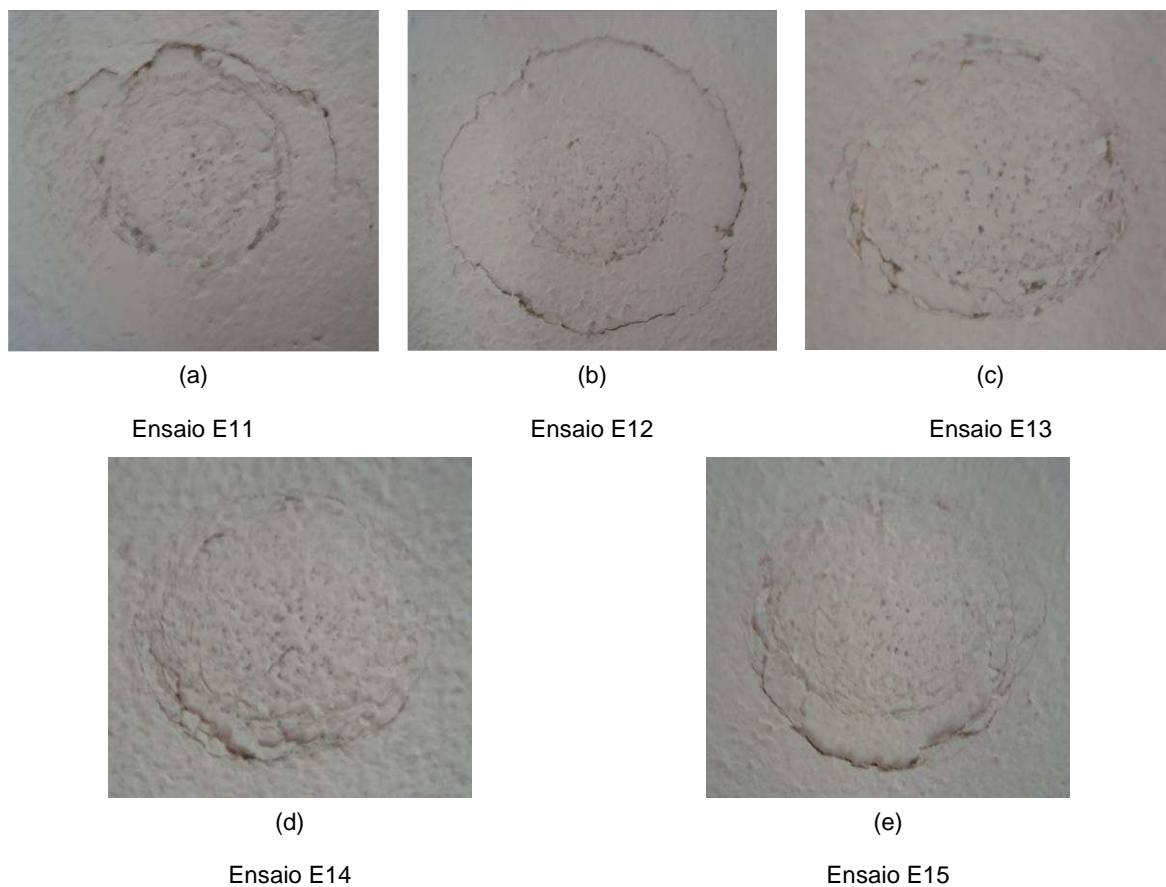


Fig.5.9 – Degradações provocadas na parede C1 pelo impacto de corpo rígido (esfera).

Quadro 5.4 – Resultados dos ensaios de choque de esfera sobre a parede C1.

Ensaio	Diâmetro do impacto (cm)	Observações
E <sub>11</sub>	4,2	Fendilhação circular mas sem que o isolamento seja visível
E <sub>12</sub>	4,4	Fendilhação circular mas sem que o isolamento seja visível
E <sub>13</sub>	2,7	Alguma fissuração
E <sub>14</sub>	2,5	Alguma fissuração
E <sub>15</sub>	3,0	Fendilhação circular mas sem que o isolamento seja visível

### 5.5.3. ANÁLISE E DISCUÇÃO DE RESULTADOS

Para analisar os ensaios de choque de esfera sobre sistemas de isolamento pelo exterior (ETICS), ou seja, os ensaios realizados sobre as paredes A e C1, deve recorrer-se aos critérios de classificação indicados pela ETAG 004. Comparando o tipo de dano visualizado nos dois tipos de ETICS, estes são muito distintos. Enquanto a parede A apresenta danos muito leves com a formação de uma pequena concavidade de diâmetro médio de 1 cm e praticamente só perceptível pelo tacto e sem fissuração, a parede C1 apresenta vários anéis de fissuras com diâmetro médio de 3,36 cm onde, em alguns casos, existe uma fissuração circular predominante. As mossas provocadas sobre a parede C1 apresentam, contudo, diâmetros que se dispersão um pouco, indo desde 2,5 cm a 4,4 cm.

Dado que só se pôde efectuar o teste de impacto de 3 J, por limitação de infra-estrutura, e a categorização depende muito da interpretação não clara da ETAG e da visualização *in situ* dos danos, esta não é passível de falhas. Contudo, no quadro 5.4 é feita a categorização dos dois tipos de ETICS.

Quadro 5.5 – Categorização dos dois tipos de ETICS ensaiados.

Provete	Categoria
Parede A	Categoria I
Parede C1	Categoria III

Passando à análise da deterioração provocada pelo impacto do choque de esfera em reboco exterior, ou seja, na parede B, esta deve ser feita à luz das várias publicações já citadas anteriormente.

A avaliação interpretativa dada por Thorogood (1978) não pode ser aplicada directamente nos resultados deste trabalho. Isto porque no âmbito deste estudo foram realizados apenas ensaios com energia de 3 J. Contudo, os ensaios sobre a parede B provocaram alterações significativas no revestimento, o que leva a crer que um impacto de 10 J de energia provocaria danos ainda maiores.

O mesmo se passa com a interpretação dada pela EOTA (2003) uma vez que não foram levados a cabo ensaios de choque de esfera de 6 J de energia.

Segundo a ABNT (2002) deveriam ainda ser realizados ensaios de 3,75 J.

Deste modo, avaliando os ensaios de choque de esfera com 3 J de energia feitos no âmbito deste trabalho, o reboco térmico aplicado na parede B não cumpre as especificações sugeridas pelos vários autores já que apresenta mossas com diâmetro médio de 2,16 cm.



# 6

## ENSAIO DE PERMEABILIDADE LÍQUIDA

### 6.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO

Sendo a capacidade de impermeabilização um dos requisitos impostos a parte dos rebocos e também a parte dos restantes revestimentos, ela deve ser garantida perante a água da chuva e também à água no interior. As fachadas de um edifício devem constituir uma barreira estanque à água devendo os revestimentos contribuir para esse fim de modo positivo.

É importante frisar que os conceitos de impermeabilização e de estanquidade envolvem a noção de obstáculo à passagem de água, que é parcial no primeiro e total no segundo caso. Num revestimento de impermeabilização admite-se que uma quantidade limitada de água possa atingir o suporte já num revestimento de estanquidade exige-se a capacidade de impedir totalmente a passagem da água.

Um revestimento pode assegurar a sua função de impermeabilização se absorver uma quantidade de água suficientemente baixa de modo a que a possa perder por evaporação entre dois períodos de chuva, sem que haja atravessamento da totalidade da espessura do reboco (Quintela, 2006).

A permeabilidade líquida é a maior ou menor facilidade de um material se deixar atravessar pela água. Esta permeabilidade assume principal importância quando a lâmina de água da chuva que escoar pela fachada é sujeita à acção do vento.

A água é associada a processos de deterioração que afectam os materiais de alvenaria. A sua presença dentro da estrutura interior dos poros da alvenaria pode resultar em destruição física se, por exemplo, o material sofre ciclos de gelo/degelo. Talvez de maior importância é o facto de que a presença de humidade é uma condição necessária e pré-requisito para a maioria dos processos de deterioração: gases poluentes são prejudiciais quando são dissolvidos em água, fenómenos de fluorescência são dependentes da migração de sais dissolvidos na água; humidade é um requisito para o crescimento dos organismos biológicos, etc. Devido a esses factores, a permeabilidade líquida de um material de alvenaria está relacionada com sua durabilidade (RILEM II.4).

O Laboratório de Física das Construções dispõe de três aparelhos para medição da permeabilidade líquida. Um dos aparelhos permite a medição da permeabilidade à água dos rebocos exteriores de impermeabilização de paredes à base de ligantes hidráulicos, segundo a técnica descrita no Cahier n.º1779 do CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Outro dos equipamentos, equipamento GWT – 4000, permite a realização de ensaios de permeabilidade superficial em betões, tanto em paramentos verticais como horizontais. Este equipamento é usado para analisar as microfissuras e porosidades da superfície do betão e do revestimento ou para testar juntas e



intensidade de membranas à prova de água. Por fim, o terceiro equipamento, denominado de *ELE – Internacional 35-40-45*, permite a medição da permeabilidade líquida *in situ*.



(a)

Equipamento de determinação da permeabilidade em provetes de reboco segundo Cahier n.º1779 do CSTB.



(b)

Equipamento de permeabilidade de betões: GWT – 4000.



(c)

Equipamento de permeabilidade de paredes *in situ*: *ELE – Internacional 35-40-45*.

Fig.6.1 – Equipamentos de determinação da permeabilidade líquida (*in* página Web do LFC).

O presente estudo recai na utilização do equipamento designado como *ELE – Internacional 35-40-45*. Esse ensaio é utilizado para medir a quantidade de água absorvida sob baixa pressão através de uma superfície definida de um material poroso durante um período de tempo definido.

Ao aplicar uma coluna de água sobre o material poroso a ensaiar a água penetra no material. O volume de água absorvido depois de um período de tempo bem definido é uma característica própria do material ensaiado.

A medição da água absorvida sob baixa pressão é um ensaio que pode ser útil, entre outras coisas, para:

- Avaliar (*in situ*) a extensão de certos tipo de danos na superfície;
- Avaliar a importância do enchimento do volume de poros para o tratamento de impregnação;
- Avaliar o sucesso de um tratamento de selagem e impermeabilização à água;
- Avaliar a durabilidade de uma superfície tratada.

O teste pode ser realizado no local ou no laboratório e pode ser utilizado para medir o transporte de água vertical ou horizontal. Medições de permeabilidade à água líquida feitas no laboratório podem ser usado para caracterizar superfícies como alvenaria sem tratamento. Por sua vez, medições feitas no local (ou em amostras retiradas para análises laboratoriais) podem ser usadas para avaliar o grau de desgaste a que o material foi submetido (RILEM II.4).

Ensaio de avaliação da permeabilidade à água líquida podem auxiliar a avaliação do estado de conservação dos revestimentos. A utilização de métodos não destrutivos, pode revelar resultados muito interessantes e métodos *in situ* assumem uma importância relevante para complementação dos



resultados de ensaios laboratoriais. Os ensaios *in situ* permitem determinar características do revestimento, identificar anomalias e aumentar a precisão da avaliação efectuada através de ensaios laboratoriais (Magalhães *et al.*, 2005).

O método descrito neste estudo não é o único método de determinação de permeabilidade à água líquida *in situ*. Contudo, é um dos menos comuns e estudados. Outros métodos, como o ensaio de determinação da permeabilidade à água sob baixa pressão usando tubos de *Karsten* ou o método do Humidímetro, são bastante utilizados em estudos realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e são retratados em muitas publicações.



Fig.6.2 – Tubos de *Karsten* (Tavares, 2007).

O ensaio utilizado no presente estudo, tal como o ensaio dos tubos de *Karsten*, provoca a criação de uma frente de humedecimento que varia a sua velocidade de propagação no tempo. As medições exactas do avanço desta frente de humedecimento feitas em uma variedade de materiais utilizados na construção de alvenaria têm demonstrado que a taxa de humedecimento é característica e padrão de cada material e está directamente relacionada com a sua estrutura capilar e distribuição de tamanho dos poros (RILEM II.4).

## 6.2. NORMAS DE ENSAIO

O ensaio de determinação da permeabilidade líquida *in situ* e sobre paramentos de material poroso não é um ensaio muito comum. Deste modo, a única orientação seguida pelo LFC trata-se de uma ficha de ensaio designada de Essai nº II.3: *Absorption d'eau sous basse pression (à la boîte)*. Esta ficha é a única indicação técnica seguida neste trabalho e, deste modo, as informações fornecidas por ela são apresentadas no capítulo 6.3.

## 6.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No ensaio de permeabilidade líquida *in situ* foi utilizado o aparelho descrito no capítulo 3.4.1 que é constituído por uma plataforma que foi aplicada contra a parede de ensaio. Contudo, antes da colocação da plataforma na parede foi necessário aplicar *mastique* sobre a borracha isolante da caixa

metálica de modo a garantir a sua estanquidade. A ficha de ensaio seguida prevê a utilização de cimento ou borracha para tal função. A aplicação de *mastique* encontra-se ilustrada na figura 6.3.

O *mastique* deve secar cerca de 10 minutos antes da colocação da caixa na fachada.



Fig.6.3 – Aplicação de *mastique* na plataforma do equipamento de permeabilidade líquida.

Quando o suporte e a caixa metálica estavam na posição desejada colocou-se o tubo de *Mariotte* bem como o peso de 10 kg cujo encaixe se encontra no suporte metálico.



Fig.6.4 – Peso de 10 kg devidamente colocado.

Depois de um período de secagem do *mastique* e depois da plataforma se encontrar estável, esta foi preenchida com água através de uma abertura existente na parte superior. Este enchimento foi

contínuo e o nível da água foi mantido constante através de um tubo de *Mariotte* cujo fluxo, em qualquer momento, compensava o fluxo de água de percolação através da parede.

Para o enchimento da cavidade interior da plataforma foram necessários, aproximadamente, cinco litros. Deste modo para cada ensaio foram dispensados seis litros de água que resultam da soma dos cinco necessários para o preenchimento da plataforma com o utilizado no enchimento do tubo.



Fig.6.5 – Enchimento da plataforma do aparelho de permeabilidade líquida.

A quantidade de água que entrava na parede era lida directamente no tubo em milímetros. Durante o primeiro minuto as medições foram feitas a cada 15 segundos. Em seguida, a cada minuto até aos 5 minutos e depois a cada 5 minutos. O teste durou 30 minutos, ou seja, foram feitas 14 medições.

Foram realizados ensaios de permeabilidade à água líquida nos provetes designados como parede A e parede C1. Contudo, o ensaio realizado na parede C1 foi efectuado sobre a alvenaria de blocos de betão. Estes ensaios designam-se, respectivamente, de  $P_1$  e  $P_2$ .

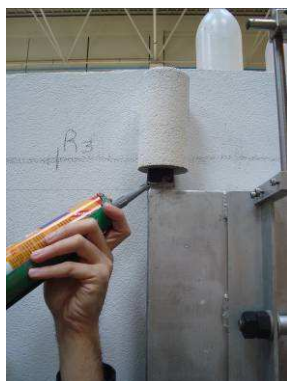
Todas as fases da realização dos ensaios encontram-se datadas e em anexo (Anexo: Calendarização real de tarefas laboratoriais).

#### 6.4. DIFICULDADES DO ENSAIO

Sendo o ensaio de permeabilidade líquida sob baixa pressão, *in situ* e sobre paramentos de material poroso um ensaio pouco comum e cuja realização não é corrente, as principais dificuldades, além da de encontrar normalização referente, são encontradas no desenrolar do próprio ensaio. Neste capítulo pretende-se enumerar alguns contratempos que surgiram na realização do referido ensaio de permeabilidade líquida.

No acto de enchimento da plataforma foram detectados alguns problemas de vedação, nomeadamente numa das borrachas existentes na parte superior da plataforma e na válvula existente na base da

mesma. Estas fugas foram resolvidas com a aplicação de *mastique* nesses locais, aplicação essa ilustrada na figura 6.6.



(a)

Aplicação de Mastique na borracha superior.



(b)

Enchimento da borracha que cobre a abertura superior com Mastique.



(c)

Válvula inferior selada.

Fig.6.6 – Selagem de locais críticos.

A própria borracha isolante da caixa metálica encontrava-se em mau estado de conservação e a selagem entre ela e a parede tornou-se também uma dificuldade, levando assim, a que alguns dos ensaios fossem cancelados pela existência de fugas de água nessa interface.

Após ausência de fugas de água o problema passou a ser a ausência de abertura para saída de ar aquando da entrada de água. Para resolver esta situação foi feita uma perfuração numa das borrachas superiores onde foi introduzido um tubo de borracha para saída de ar. Desta forma, as três borrachas existentes na parte superior da plataforma passaram a estar ocupadas ou seladas. Duas possuem perfurações e tubos: uma para a entrada de água e outra para a saída de ar; e a outra encontra-se selada com *mastique*.



Fig.6.7 – Tubo de *Mariotte* (entrada de água) e tubo de saída de ar.

A introdução do tubo para saída de ar aumentou a velocidade do escoamento e, por isso, a velocidade de enchimento da plataforma. Possibilitou ainda a percepção do momento exacto do início do ensaio uma vez que se passou a detectar perfeitamente o momento no qual a plataforma estava completamente cheia.

Com a selagem da válvula destinada ao escoamento da água no final do ensaio, foi necessário proceder à desmontagem do equipamento ainda com a caixa metálica preenchida com água.

## 6.5. RESULTADOS

O presente capítulo pretende ser uma apresentação dos resultados dos ensaios de permeabilidade líquida realizados no âmbito deste trabalho. Com esse objectivo, divide-se em dois outros capítulos: resultados experimentais e análise e discussão de resultados.

A exposição do modo de tratamento e interpretação de resultados é feita ao longo dos dois capítulos que se seguem pelo facto de serem reduzidas as referências bibliográficas seguidas, sendo elas: boletim de ensaio de carácter particular do Laboratório de Física das Construções (Freitas *et al.*, 2001) e a, já referida, ficha de ensaio Essai n° II.3: *Absorption d'eau sous basse pression (à la boîte)*.

## 6.5.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Quadro 6.1 – Volumes absorvidos no ensaio de permeabilidade líquida P1.

<b>Tempo</b>	<b>Leitura</b>	<b>Volume absorvido</b>
<b>s</b>	<b>ml (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ml (cm<sup>3</sup>)</b>
0	1000	0
15	1000	0
30	1000	0
45	1000	0
60	1000	0
120	990	10
180	990	10
240	980	20
300	980	20
600	980	20
900	980	20
1200	980	20
1500	980	20
1800	980	20

No quadro 6.1 são apresentados os volumes de água absorvidos ao longo do tempo de ensaio pela parede A, ou seja, durante o ensaio de permeabilidade líquida P1. Do ensaio de permeabilidade líquida P2, ou seja, do ensaio realizado sobre a parede C1, não resultaram dados quantitativos uma vez que após a introdução de 8 litros de água na cavidade interior da plataforma, esta ainda não se encontrava cheia. Nesse momento do ensaio era já detectada água nas juntas entre os blocos de betão leve, juntas essas situadas um pouco abaixo da caixa metálica do equipamento de ensaio.





(a)

Aparecimento de água nas juntas um pouco abaixo da caixa metálica do equipamento.

(b)

Marca que indica posição assumida pelos 8 litros de água introduzidos no equipamento.

Fig.6.8 – Resultados qualitativos do ensaio de permeabilidade líquida P2.

#### 6.5.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados deste tipo de ensaio de permeabilidade líquida, segundo a ficha de ensaio seguida, devem ser apresentados sobre a forma de curva de absorção de água num diagrama onde nas abcissas se apresenta o tempo de ensaio e nas ordenadas a quantidade de água absorvida pela parede em  $\text{cm}^3$ . Contudo nos dois ensaios realizados no âmbito deste estudo não se procedeu a essa apresentação. No ensaio P1 essa apresentação torna-se desnecessária visto que o volume de água absorvido pela parede foi extremamente pequeno. Por sua vez, no ensaio P2 a razão que levou à não apresentação gráfica dos resultados foi exactamente a oposta, ou seja, o volume de água absorvido ser muito elevado sendo impossível o seu registo face às características do ensaio.

A parede A apresenta uma permeabilidade à água líquida muito baixa, absorvendo, durante os 30 minutos de ensaio, 20 ml de água. Esta baixa permeabilidade da parede é-lhe concedida pelo seu revestimento final, ou seja, pela tinta de cor branca.

A parede C1, quando ensaiada pelo lado da alvenaria de betão leve, apresenta uma permeabilidade à água muito alta. Contudo esta permeabilidade é superior devido à existência de juntas, juntas essas que são secas e sem argamassa (juntas verticais) ou preenchidas por uma argamassa leve, seca e pré-doseada à base de cimento Portland e areia calibrada (juntas horizontais).

Os resultados obtidos nos ensaios realizados não permitem uma análise quantitativa mais exaustiva. Porém, se esta análise fosse possível, além da apresentação gráfica anteriormente mencionada, deveriam ser calculados os chamados fluxos acumulados segundo a expressão (6.1) para se proceder à sua representação gráfica também.

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^i L_j}{t_j A} \quad (6.1)$$

Onde:

q – Fluxo acumulado, em [mm/s];

L – Volume absorvido, em [mm<sup>3</sup>];

t – Instante de tempo, em [s];

A – Área da caixa metálica de valor constante de 54 400 mm<sup>2</sup> (160 mm x 340 mm).

A título de curiosidade são apresentados na figura 6.9 exemplos de curvas de absorção e de fluxos acumulados de absorção de água.

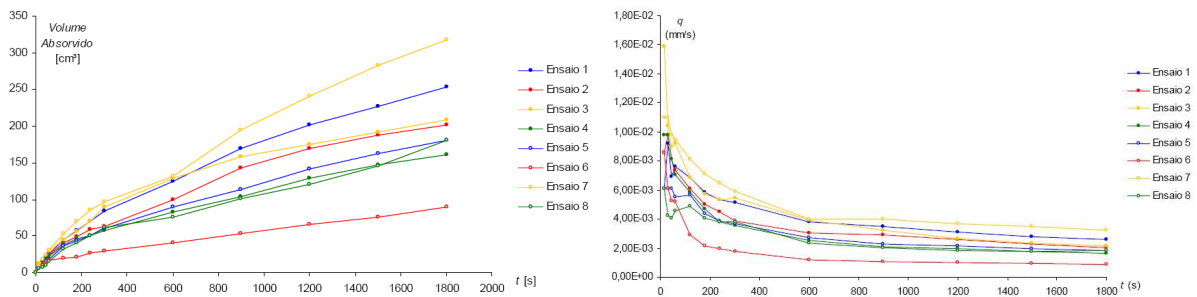


Fig.6.9 – Representação gráfica dos volumes absorvidos e dos fluxos acumulados de água, respectivamente (Adaptado de Freitas *et al.*, 2001).



## 7

## ENSAIO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA – DIFERENTES TEORES DE HUMIDADE

### 7.1. APLICABILIDADE DO ENSAIO

A condutibilidade térmica,  $\lambda$ , expressa-se em  $[W/(m.K)]$  ou  $[W/(m.^{\circ}C)]$  e é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogêneos (Santos *et al*, 2006). Como definido no capítulo 3, esta propriedade representa a quantidade de calor por unidade de tempo, em Watts que atravessa um material de  $1\text{ m}^2$  de secção e 1 m de espessura, quando a diferença de temperatura entre as duas faces paralelas e planas do elemento é de  $1\text{ }^{\circ}\text{K}$  ou  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Envolvendo um objecto a uma dada temperatura com uma camada de um material, de modo a isolá-lo do ambiente exterior, a condutibilidade térmica do material isolante determina a rapidez com que o calor fluirá através dele.

Na prática, quanto maior for o valor da condutibilidade térmica do material, mais condutor ele será e quanto menor a constante, mais isolante ao calor ele se comportará. Materiais que transferem maiores quantidades de calor por unidade de tempo são bons condutores térmicos, como o aço. Por sua vez, materiais com pequena condutibilidade térmica irão transferir pequenas quantidades de calor por unidade de tempo, estes materiais, como a lã mineral, são condutores térmicos pobres. Os materiais de construção, como gesso e tijolo, têm uma condutibilidade térmica média.

Os fabricantes de produtos de construção, em particular de isolantes térmicos, devem declarar, obrigatoriamente, o valor da resistência térmica ( $R_D$ ) correspondente a cada uma das espessuras dos produtos colocados no mercado. No âmbito da marcação CE, os fabricantes declaram um valor da condutibilidade térmica ou da resistência térmica, que se denominam valores declarados ( $\lambda_D$  ou  $R_D$ ). Estes valores declarados representam o valor espectável da condutibilidade ou da resistência térmica de um material ou produto. Contudo, existem condições convencionais por trás destes valores declarados, nomeadamente temperatura média e teor de água de equilíbrio em ambiente normalizado.

No caso dos isolantes térmicos, os valores declarados pelos fabricantes no âmbito da marcação CE para a condutibilidade térmica são referenciados a um teor de água de equilíbrio num ambiente com  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura e 50% de humidade relativa. Convencionalmente, consideram-se isolantes térmicos os materiais e produtos com condutibilidade térmica inferior a  $0,065\text{ W/(m.^{\circ}C)}$  e resistência térmica superior a  $0,030\text{ m}^2.^{\circ}\text{C/W}$ .

Nas condições normais de utilização, os materiais e produtos de construção estão sujeitos a condições diferentes dos adoptados na determinação do valor declarado, nomeadamente a diferentes

temperaturas e humidade relativa (ou contacto prolongado com água). Essas diferentes condições a que estão expostos os materiais e produtos de construção levam a que o valor de condutibilidade térmica não seja constante durante o seu período de vida útil que, no caso dos produtos de isolamento térmico, é de 25 anos (Santos *et al*, 2006).

A medição do coeficiente de condutibilidade térmica permite caracterizar o desempenho dos materiais face à condução de calor para que em função desta propriedade se proceda à selecção exigencial.

O Laboratório de Física das Construções (LFC) dispõe de dois equipamentos de medição dos valores de  $\lambda$ , o *Holometrix GHP-300* e o portátil *CT-Mètre* que se baseiam no *Método Guard-Hot-Plate* e no *Método da Sonda de Choque Térmico*, respectivamente. Ambos os métodos enumerados procedem à determinação da condutibilidade térmica em regime estacionário.

O equipamento portátil *CT-Mètre* e respectivas sondas torna possível a determinação da condutibilidade térmica *in situ* ou em laboratório e cujos valores estejam compreendidos entre 0,05 W/(m.°C) e 5,00 W/(m.°C). Por sua vez, o equipamento *Holometrix GHP-300* permite a determinação rigorosa da condutibilidade térmica em laboratório para valores compreendidos entre 0,02 W/(m.°C) e 2 W/(m.°C).



Fig.7.1 – Portátil *CT-Mètre* e *Holometrix GHP-300*, respectivamente.

O ensaio para determinação da condutibilidade térmica baseado no *Método Guard-Hot-Plate* realiza-se em regime permanente e é um ensaio laboratorial simples. Contudo, é um ensaio moroso e aplicável apenas a materiais secos. A morosidade do ensaio aliada a presença de humidade no material levaria à existência da possibilidade de migrações da humidade no interior dos provetes o que falsearia os resultados.

A determinação da condutibilidade térmica de um material húmido pode ser feita recorrendo ao portátil *CT-Mètre* cujo método, baseado no *Choque Térmico*, é de execução mais rápida permitindo a obtenção de valores de  $\lambda$  em função do teor de humidade. Este aparelho fornece a condutibilidade térmica de materiais como tijolos, pedras, vidro, madeira e substâncias em pó ou líquidos de alta viscosidade (desde que devidamente envasilhados).

Segundo Torres (2004), a influência da humidade na condutibilidade térmica dos materiais de construção é dada pela expressão (7.1).

$$\lambda(w) = \lambda_s \left(1 + \frac{bw}{\rho_s}\right) \quad (7.1)$$

Onde:

$\lambda(w)$  - Condutibilidade térmica do material húmido, em [W/(m.K)];

$\lambda_s$  - Condutibilidade térmica do material seco, em [W/(m.K)];

$\rho_s$  - Massa volúmica do material seco, em [kg/m<sup>3</sup>];

$b$  - Suplemento da condutibilidade térmica, em [%M.-%];

$w$  é o teor de humidade, em [kg/m<sup>3</sup>].

O *Método do Choque Térmico*, utilizando o portátil *CT-Mètre* é um modo experimental de determinar o suplemento da condutibilidade térmica,  $b$ , que indica a percentagem de aumento de condutibilidade térmica por percentagem de massa de humidade.

## 7.2. NORMAS DE ENSAIO

No presente capítulo são indicadas algumas normas que tratam o ensaio em questão e que, por isso, dão indicações relativas ao procedimento de ensaio. A reflexão sobre cada norma é, neste capítulo, apenas dirigida a particularidades do procedimento experimental.

### 7.2.1. EN 993-14 E EN 993-15

As normas EN 993-14: *Methods of test for dense shaped refractory products – Determination of thermal conductivity by the hot-wire (cross-array) method* e EN 993-15: *Methods of test for dense shaped refractory products – Determination of thermal conductivity by the hot-wire (parallel) method* descrevem um método de determinação da condutibilidade térmica baseado na medição dinâmica do aumento da temperatura em função do tempo, num determinado local, a uma determinada distância da fonte de calor linear encaixada entre os dois provetes, ou seja, o *Método do choque térmico*.

Estas normas fazem uma breve descrição dos aparelhos a utilizar no ensaio bem como dos provetes. Segundo a EN 993-14 e a EN 993:15, cada conjunto de teste deve ser composto por dois provetes semelhantes não inferiores a 200 mm x 100 mm x 50 mm. Os provetes devem possuir faces planas e, sendo provetes de material denso devem ser inscritos no mesmos sulcos para instalação da resistência e do termopar de medição. A distância entre o termopar e a resistência deve ser mantida constante e igual a  $(15 \pm 1)$  mm.

As normas EN 993-14 e a EN 993:15 descrevem ainda o procedimento do ensaio mesmo para materiais em pó ou granulares. Neste caso, o material deve ser inserido em recipientes que devem ser preenchidos por vibração de modo a obter maior densidade específica.

### 7.2.2. MANUAL DE FUNCIONAMENTO CT-MÈTRE

O *Manual de Funcionamento “CT-Mètre”* é um documento, de carácter particular, disponível no Laboratório de Física das Construções e trata-se de uma tradução do manual inglês *Concise user Manuel and data assortment for the CT-Mètre*.

Este manual dá indicações sobre o funcionamento do portátil *CT-Mètre* para determinação da condutibilidade térmica. Assim, para utilizar o equipamento deve-se seguir os seguintes passos:

- Ligar a ficha do equipamento à corrente;
- Introduzir a sonda na entrada "CAPTEUR";
- Ligar o equipamento pressionando o botão M/A (a luz do botão acende);
- Escolher um número entre 0 e 9 no comutador ("CONFIGURATION") onde cada número dá acesso a umas das dez memórias de configuração;
- Rodar a chave para a posição horizontal e pressionar o botão "C";
- Escolher entre "A" seguido de "ENTR" que mostra a configuração corrente (de acordo com a memória seleccionada no comutador "CONFIGURATION") e "B" seguido de "ENTER" que torna possível alterar qualquer valor atribuído aos parâmetros em memória;

(É necessário introduzir cada parâmetro no teclado seguido de "ENTER". Todos os valores devem ser obrigatoriamente introduzidos mesmo que não sofram alterações.)

- Rodar a chave para a posição vertical e pressionar "ENTER";
- Pressionar "MESURE" (após a temperatura estabilizar a medição começa e a luz vermelha "CHAUFFAGE" acende);

(Após a medição a luz vermelha "CHAUFFAGE" apaga-se e o cálculo começa aparecendo no ecrã a mensagem "Patience Calcul!". Por fim, essa mensagem é substituída pelo valor da condutibilidade em  $W/(m.K)$ )

- Pressionar "C" para apagar os resultados e voltar ao ecrã inicial.

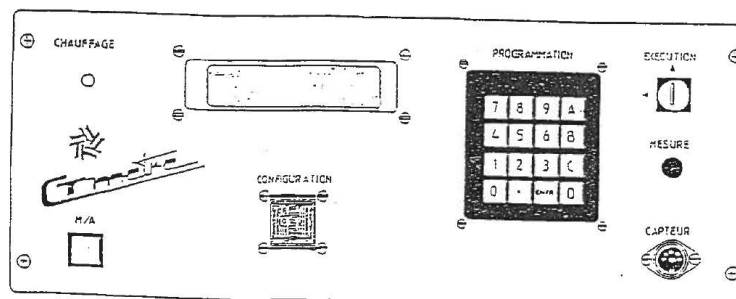


Fig.7.2 – Portátil CT-Mètre (Rosenbom, 1993).

Neste documento é feita, ainda, uma referência ao princípio de funcionamento do equipamento portátil CT-Mètre; uma pequena apresentação do equipamento, apresentação essa exposta no capítulo 3.4.2 deste trabalho; uma descrição os três modelos de sondas e uma indicação das dimensões mínimas dos provetes e dos mínimos e máximos para valores de alguns parâmetros a inserir no equipamento em função do tipo de sonda e da condutibilidade espectável.

A descrição da sonda *Fil* pode encontrar-se no capítulo 3.4.2 deste trabalho, contudo torna-se pertinente fazer uma breve descrição dos outros dois modelos de sonda. A sonda *Monotige* tem a forma de um tubo com 3,5 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, no interior do qual estão alojados a resistência e o termopar. A sonda *Anneau* é uma sonda plana construída de um modo semelhante à *Fil* e com os mesmos materiais. A única diferença é a forma da resistência, que na sonda *Fil* é filiforme e na *Anneau* é circular.

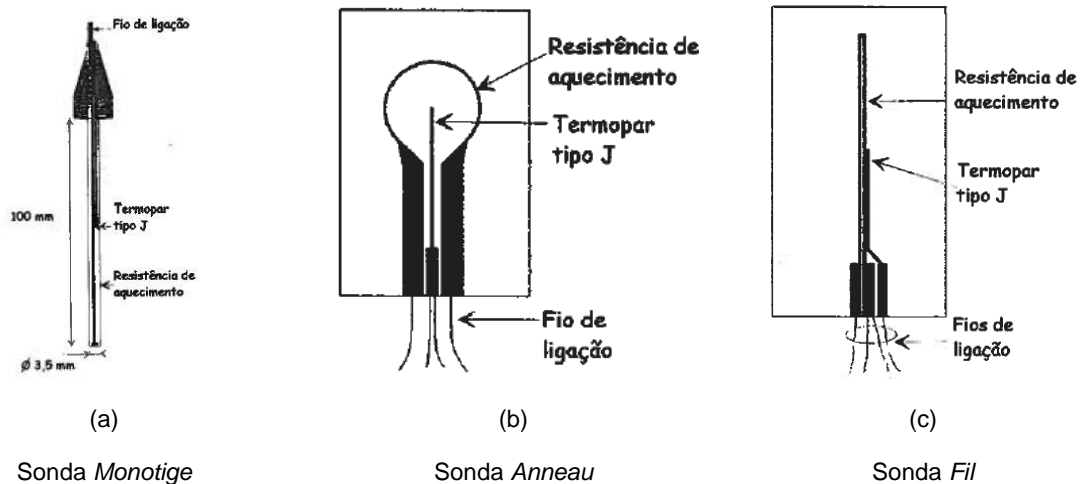


Fig.7.3 – Três modelos de sondas para o portátil CT-Mètre (Adaptado de LFC, 2009).



Fig.7.4 – Sonda Monotige.

O número e preparação de amostras variam em função do tipo de sonda utilizada. As sondas *Anneau* e *Fil* exigem a existência de dois provetes planos (possivelmente regularizados previamente) que podem possuir um espaço para a sonda de modo a maximizar o contacto sonda/provete, espaço esse que pode ser criado utilizando uma lixa. Para aumentar o mesmo contacto pode ser colocada sobre o provete superior uma massa de cerca de 500 g. Por sua vez, a sonda *Monotige* exige a existência de apenas um provete no qual deve ser aberto um furo de 4 mm de diâmetro com uma profundidade de 10 mm. Assim, a sonda deve ser colocada no provete ou entre os dois provetes de acordo com o tipo de sonda.

Os provetes a ensaiar devem obedecer às dimensões mínimas especificadas no quadro 7.1, dimensões essas estabelecidas em função do tipo de sonda e da condutibilidade térmica espectral.

Quadro 7.1 – Dimensões mínimas dos provetes.

Sonda	Dimensões mínimas dos provetes (mm x mm x mm)	
	$\lambda < 0,5 \text{ W/(m.K)}$	$\lambda > 0,5 \text{ W/(m.K)}$
<i>Monotige</i>	50 x 50 x 100	100 x 100 x 100
<i>Anneau</i>	100 x 50 x 20	100 x 50 x 50
<i>Fil</i>	80 x 80 x 20	100 x 100 x 50

Durante a utilização do portátil *CT-Mètre* são introduzidos alguns valores para parâmetros como a resistência da sonda, a variação da temperatura admissível, o tempo de ensaio, o comprimento da resistência, a potência do choque e o número de avaliações. Como referido anteriormente, o manual em questão dá indicação de mínimos e máximos para alguns destes valores, em função do tipo de sonda. Essas indicações encontram-se no quadro 7.2.

Quadro 7.2 – Limites para alguns parâmetros de cálculo.

Sonda	<i>Anneau</i>	<i>Monotige</i>	<i>Fil</i>
Tempo do ensaio (s)	Máx. 500	Min. 180 e Máx. 500	Min. 180 e Máx. 500
Avaliações (“Pass Scrutation”)	Máx. 5	Máx. 5	Máx. 5
Variação de Temperatura (°C)	Máx. 80	Máx. 80	Máx. 80

Em função dos parâmetros introduzidos no equipamento e nas medições que o próprio executa é calculado o valor da condutibilidade térmica dos provetes. O processo de cálculo levado a cabo pelo equipamento é diferente em função do tipo de sonda utilizado e é apresentado no *Manual de Funcionamento “CT-Mètre”*.

### 7.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Tendo como objectivo a realização do ensaio de condutibilidade térmica para diferentes teores de humidade e para as duas amostras pré-definidas (argamassa para reboco com inertes de cortiça e poliuretano), passa a ser necessário definir quais os teores de humidade a ensaiar. Assim optou-se por realizar o ensaio para uma humidade relativa de 50% (indicada para determinação do valor declarado da condutibilidade térmica) e 90%. O ensaio realizou-se ainda para um teor de humidade extremamente elevado que se obteve embebendo os provetes em água através da sua imersão total na mesma.

Para atribuir aos provetes a humidade relativa pretendida para o ensaio, os mesmos foram colocados na câmara climática descrita no capítulo 3.4.2. Inicialmente esta câmara climática foi programada para uma humidade relativa de 50% e uma temperatura de 25°C.



Fig.7.5 – Ecrã de programação da câmara climática e provetes a ensaiar dentro da mesma, respectivamente.

Os provetes foram mantidos dentro da câmara até que a sua massa estabilizasse, ou seja, até possuírem a mesma humidade relativa que a instalada na câmara climática. Durante esse período de tempo foram realizadas medições da massa dos provetes com relativa frequência e quando duas medições sucessivas apresentaram o mesmo valor os provetes foram retirados da câmara e envolvidos em película aderente para não ocorrerem trocas de humidade entre estes e a envolvente exterior cuja humidade relativa era superior.

O equipamento portátil *CT-Mètre* foi instalado seguindo as especificações do *Manual de Funcionamento “CT-Mètre”* e a onda do modelo *Fil* foi ligada a ele, segundo as mesmas indicações.

Embora o manual do aparelho descartasse a necessidade de fazer qualquer calibração do equipamento a partir de amostras de condutibilidade térmica conhecida, pelo facto do equipamento utilizar um método de determinação de  $\lambda$  absoluto, optou-se por fazer uma medição inicial no provete utilizado para calibração do equipamento *Holometrix GHP-300* cuja condutibilidade térmica é conhecida para distintos valores de temperatura.



Fig.7.6 – Ensaio sobre produto de calibração do *Holometrix GHP-300*.



Sendo que o valor da condutibilidade térmica para o provete utilizado para calibração do equipamento *Holometrix GHP-300* e para uma temperatura de, aproximadamente, 24°C deu 0,035 W/(m.K) quando deveria dar 0,0327 W/(m.K) e visto que o *CT-Mètre* é um equipamento menos preciso, conclui-se que o equipamento estaria a ser correctamente utilizado.

Passando à realização dos ensaios sobre os provetes realmente destinados a ensaio, o procedimento levado a cabo foi precisamente o indicado no capítulo 7.2.2. Torna-se pertinente, contudo, referir os valores utilizados nos diferentes parâmetros exigidos pelo equipamento para o cálculo.

Quadro 7.3 – Valores utilizados nos parâmetros de cálculo do equipamento.

Sonda	Fil
Tempo de ensaio	180 s
Máxima variação da temperatura	25 °C
Avaliações ("Pass Scrutation")	1
Potência do Choque	0,1 W e 0,5 W
Comprimento da Resistência	0,05 m
Resistência	8,21 $\Omega$



Fig.7.7 – Ensaio sobre provetes de espuma de poliuretano.





Fig.7.8 – Ensaio sobre provetes de argamassa para reboco com inertes de cortiça.

Após a realização dos ensaios de condutibilidade térmica sobre os provetes de poliuretano e de argamassa com inertes de cortiça para uma humidade relativa de 50% procedeu-se à imersão total dos mesmos em água. Depois dos provetes apresentarem uma massa relativamente estável foram envolvidos em película aderente e submetidos novamente a ensaio.

Por fim, as amostras foram ensaiadas ainda para a humidade relativa de 90% obtida na mesma câmara climática utilizada para a obtenção da humidade relativa de 50%.

Após todos os ensaios de condutibilidade térmica, os provetes foram colocados na estufa descrita no capítulo 3.4.2 a fim de secarem e ser determinada a sua massa seca,  $m_s$ . Os provetes encontraram-se secos quando apresentaram uma massa estável, massa essa determinada com auxílio de uma balança digital, ilustrada na figura 7.9, munida de um suporte que evitava o contacto entre a balança e o provete a temperaturas elevadas, aproximadamente 70°C.

Em função da massa dos provetes em estado húmido ( $m_h$ ) e da sua massa em estado seco pode ser determinado o teor de humidade dos provetes pela fórmula (2.4), já que a massa de água,  $m_b$ , pode ser encontrada pela diferença entre as massas dos provetes em estado húmido e seco.



(a)

Provetes dentro da estufa para secagem.



(b)

Balança para determinação da massa dos provetes munida de suporte para provetes a altas temperaturas.

Fig.7.9 – Secagem dos provetes até massa constante.

Todas as fases da realização dos ensaios encontra-se datada e em anexo (Anexo: Calendarização real de tarefas laboratoriais).

#### 7.4. DIFICULDADES DO ENSAIO

As principais dificuldades que surgiram na realização do ensaio de condutibilidade térmica pelo *Método do Choque Térmico* encontram-se relacionadas com a “escolha” de alguns parâmetros a inserir no equipamento portátil *CT-Mètre*. A escolha de parâmetros como a potência do choque deve ser feita em função da condutibilidade térmica esperada para o material a ensaiar. Desta forma, a potência do choque tal como o número de avaliações (“Pass Scrutation”) foram estabelecidas com base em ensaios preliminares, em dados de ensaios anteriormente realizados no Laboratório de Física das Construções (LFC) e em indicações das normas EN 993-14 e a EN 993:15.

Surgiram dificuldades, ainda, na medição da massa dos provetes quando estes foram imersos totalmente em água. As amostras de poliuretano depois de retiradas de água tiveram que ser escorridas até deixarem de expulsar água pela acção da gravidade. Por sua vez, nas amostras de argamassa com inertes de cortiça, após serem removidas da água, foi passado um pano seco de modo a retirar a água das faces exteriores.

#### 7.5. RESULTADOS

O presente capítulo pretende ser uma apresentação dos resultados dos ensaios de condutibilidade térmica realizados no âmbito deste trabalho. Desta forma encontra-se dividido em três outros capítulos: normas de ensaio, resultados experimentais e análise e discussão de resultados.

## 7.5.1. NORMAS DE ENSAIO

O capítulo denominado por *Normas de Ensaio* pretende enunciar algumas normas que tratam o ensaio em questão. Aqui o estudo de cada norma é dirigido ao tratamento e interpretação dos resultados dos ensaios.

As normas europeias EN 993-14: *Methods of test for dense shaped refractory products – Determination of thermal conductivity by the hot-wire (cross-array) method* e EN 993-15: *Methods of test for dense shaped refractory products – Determination of thermal conductivity by the hot-wire (parallel) method* bem como o *Manual de Funcionamento CT-Mètre* indicam fórmulas utilizada no cálculo da condutibilidade térmica, fórmulas essas que, na ultima referência bibliográfica mencionada, diferem em função do tipo de sonda utilizada.

## 7.5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

## 7.5.2.1. Espuma de poliuretano

Quadro 7.4 – Valores da condutibilidade para provetes de poliuretano com 50% de HR.

	Massa (g)	HR (%)	w (kg/kg)	T <sub>0</sub> (°C)	λ [W/(m.K)]
Proвете 1	89,9	50	2,3%	24,24	0,038
Proвете 2	88,7			23,77	0,038
				24,62	0,038
				<b>Média</b>	0,038

Quadro 7.5 – Valores da condutibilidade para provetes de poliuretano com 90% de HR.

	Massa (g)	HR (%)	w (kg/kg)	T <sub>0</sub> (°C)	λ [W/(m.K)]
Proвете 1	451,7	90	444,1%	23,15	0,063
Proвете 2	497,7			23,20	0,071
				23,29	0,068
				<b>Média</b>	0,067

Quadro 7.6 – Valores da condutibilidade para provetes de poliuretano com 1302,4% de w.

	Massa (g)	HR (%)	w (kg/kg)	T <sub>0</sub> (°C)	λ [W/(m.K)]
Proвете 1	1248,2	-	1302,4%	22,73	0,140
Proвете 2	1199,0			22,16	0,130
				22,59	0,135
				<b>Média</b>	0,135

A massa dos provetes secos de poliuretano é de 86,6 g e 87,9 g tratando-se do provete 1 e 2, respectivamente.

## 7.5.2.2. Argamassa para reboco com inertes de cortiça

Quadro 7.7 – Valores da condutibilidade para provetes de argamassa com inertes de cortiça com 50% de HR.

	Massa (g)	HR (%)	w (kg/kg)	T <sub>0</sub> (°C)	λ [W/(m.K)]
Proвете 3	3900,5	50	6,7%	25,60	0,166
Proвете 4	3852,7			25,52	0,201
				25,50	0,170
				25,62	0,168
				<b>Média</b>	0,176

Quadro 7.8 – Valores da condutibilidade para provetes de argamassa com inertes de cortiça com 90% de HR.

	Massa (g)	HR (%)	w (kg/kg)	T <sub>0</sub> (°C)	λ [W/(m.K)]
Proвете 3	4009,9	90	11,0%	23,14	0,225
Proвете 4	4051,7			23,23	0,260
				23,24	0,228
				24,01	0,221
				<b>Média</b>	0,233

Quadro 7.9 – Valores da condutibilidade para provetes de argamassa com inertes de cortiça com 13,8 % de w.

	Massa (g)	HR (%)	w (kg/kg)	T <sub>0</sub> (°C)	λ [W/(m.K)]
Proвете 3	4148,7	-	13,8%	21,54	0,306
Proвете 4	4116,2			22,61	0,371
				22,68	0,305
				22,69	0,310
				<b>Média</b>	0,323

A massa dos provetes secos de argamassa com inertes de cortiça é de 3636,7 g e 3628,9 g tratando-se do provete 3 e 4, respectivamente.

## 7.5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Quando comparados os valores obtidos nos ensaios realizados no âmbito desta dissertação com os valores obtidos em ensaios solicitados pelas entidades produtoras dos diferentes materiais ensaiados ao Laboratório de Física das Construções, verificar-se que diferem em 0,0025 W/(m.K) e 0,009 W/(m.K) nas amostras de poliuretano e argamassa com inertes de cortiça, respectivamente.

Os resultados apresentados nos respectivos boletins de ensaio (Freitas *et al*, 2009a; Freitas *et al*, 2009b) e obtidos em ensaios realizados com o *Holometrix GHP-300*, apresentam valores inferiores para a condutibilidade térmica quando comparados com os resultados obtidos recorrendo ao equipamento portátil *CT-Mètre*.

A diferença entre os resultados obtidos com os diferentes equipamentos justifica-se pela menor precisão do equipamento *CT-Mètre*. Essa diferença torna-se ainda maior quando analisadas as amostras de argamassa para reboco com inertes de cortiça. Essa maior discrepância é influenciada por

um dos resultados que, para as humidades relativas e teor de humidade ensaiados, se verifica superior aos restantes e que corresponde a uma superfície cujo material de regularização se encontra destruído. A área do provete de argamassa de reboco com inertes de cortiça cujo material de regularização se encontra danificada encontra-se ilustrada na figura 7.10.

Quadro 7.10 – Valores médios da condutibilidade térmica para 50% de HR determinados com o CT-Mètre e o Holometrix GHP-300.

	HR (%)	$\lambda$ [W/(m.K)]	
		CT-Mètre	Holometrix GHP-300
Poliuretano	50	0,038	0,0365
Argamassa com inertes de cortiça		0,176	0,167



Fig.7.10 – Face do provete de argamassa com inertes de cortiça com camada de regularização danificada.

Comparando os valores da condutibilidade térmica obtidos para as diferentes humidades relativas e teor de humidade pode-se perceber que a condutibilidade térmica é crescente com o aumento de humidade. Sendo assim, um paramento que possua um destes materiais na sua constituição vê a sua resistência térmica diminuída quando a humidade aumenta.

O crescimento da condutibilidade térmica com o aumento da humidade não é, contudo, linear. Verifica-se que o crescimento é inferior, em ambos os materiais, em regime higroscópico para passar a um crescimento muito superior para teores de humidade altos.

Quadro 7.10 – Valores médios da condutibilidade térmica para diferentes HR ou w.

Amostras	HR (%)	w (kg/kg)	$\lambda$ [W/(m.K)]
Poliuretano	50	2,3%	0,038
	90	444,1%	0,067
	-	1302,4%	0,135
Argamassa com inertes de cortiça	50	6,7%	0,176
	90	11,0%	0,233
	-	13,8%	0,323

# 8

## CONCLUSÕES

### 8.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação possui uma forte componente laboratorial com uma certa complexidade e na qual se utilizaram equipamentos do Laboratório de Física das Construções (LFC). A realização dos quatro ensaios: arrancamento por tracção, choque de esfera, permeabilidade Líquida e condutibilidade térmica em estado húmido; foi levada a cabo nos meses de Março, Abril, Maio e Junho.

### 8.2. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Após a conclusão da presente dissertação, pode-se afirmar que os principais objectivos propostos na mesma foram atingidos. As diversas conclusões são apresentadas seguidamente e ordenadas de acordo com os objectivos parciais definidos no capítulo 1.2.

- A elaboração do capítulo referente a normalização de ensaios permitiu concluir que cada determinação experimental é regida por um conjunto de normas que podem ser de carácter distinto conforme a propriedade ou comportamento do material ou sistema construtivo a determinar. Existem, porém, ensaios laboratoriais e *in situ* cujo número de normas que reflectem o seu procedimento experimental ou indicam valores de referência para o parâmetro analisado, é muito elevado;
- Existem inúmeras entidades produtoras e gestoras de normalização. Contudo, do grupo destacam-se três: *International Organization for Standardization* (ISO); *European Committee for Standardization* (CEN) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM);
- Existem normas que definem os procedimentos de ensaio aplicados a diferentes materiais. Para o mesmo material e ensaio existem, ainda, mais do que uma norma sendo que cada uma delas introduz particularidades e parâmetros divergentes ou pouco especificados;
- O ensaio de arrancamento por tracção permite avaliar a aderência durante a fase de execução para controlo da qualidade ou na fase de pós-ocupação para teste do desempenho em serviço;
- A execução de diversos ensaios de arrancamento permitiu concluir que uma das grandes dificuldades deste ensaio está na sua correcta execução. No acto do arrancamento a estabilidade promovida pelo operador ao equipamento é fundamental. O operador deve, por isso, ser experiente;
- Geometrias diferentes para as pastilhas e pré-corte, nos ensaios de arrancamento, levam a valores distintos para a tensão de rotura, sendo, maioritariamente, verificado que pastilhas e pré-corte circulares levam a tensões de rotura superiores devido ao efeito de concentração de tensões nos cantos dos provetes quadrangulares, superioridade essa que ronda os 50%.

- Contudo, existem materiais em que essa concentração de tensões nos cantos não se verifica podendo-se, mesmo, verificar tensões superiores quando utilizadas pastilhas e pré-corte quadrangulares. Esta excepção verifica-se em materiais mais flexíveis, como o reboco térmico, e assim, com pastilhas e pré-corte quadrangulares pode ser encontrada uma tensão de rotura, aproximadamente, 20% superior à encontrada com pastilhas e pré-corte circulares;
- Ensaio de arrancamento por tracção sem pré-corte levam a resistência de aderência superior à encontrada em ensaios com pré-corte. Contudo, os valores encontrados para a tensão de rotura não devem ser comparados com valores de referência indicados pelas normas referentes a ensaios com pré-corte. Ensaio sem pré-corte e pastilhas circulares apresentam, ainda, um menor coeficiente de variação do que ensaios com pré-corte e pastilhas circulares;
  - Durante a aplicação da força de tracção, em ensaios sem pré-corte, o provete vai rompendo pelos pontos mais frágeis levando assim a provetes com uma geometria irregular;
  - O ensaio de choque de esfera permite avaliar a resistência mecânica e assim definir possíveis locais de aplicação do material ou sistema construtivo (cotas baixas ou mais elevadas). Permite ainda avaliar a degradação física e visual provocada pelo impacto e a capacidade do revestimento providenciar segurança em uso;
  - O tipo de danos causados pelo ensaio de choque de esfera sobre ETICS pode ser muito distinto. As paredes avaliadas nesta dissertação são classificadas, segundo a ETAG, como pertencentes à categoria I e III (extremos), sendo, contudo, uma categorização muito dependente da interpretação não clara da ETAG e baseada apenas em ensaios de impacto de 3 joules;
  - A avaliação interpretativa dos danos causados pelo impacto do choque de esfera sobre rebocos exteriores pode ser efectuada sobre especificações sugeridas por diferentes publicações e autores, sendo que essas especificações são distintas entre si;
  - O ensaio de permeabilidade líquida sob baixa pressão pode ser útil, entre outros, para avaliar a extensão dos danos na superfície e o sucesso de tratamentos higroscópios, de selagem e impermeabilização à água;
  - A utilização do *Método Guarded-Hot-Plate* para a determinação da condutibilidade térmica de materiais de construção é indicada para provetes secos ou com a humidade de equilíbrio com a ambiência exterior (como indicado na normalização referente). Por sua vez, a utilização do *Método do Choque Térmico* permite a determinação da mesma propriedade para distintos teores de humidade;
  - Os resultados para a condutibilidade térmica, com 50% de humidade relativa, sobre provetes distintos e com diferentes métodos de ensaio, *Guarded-Hot-Plate* e *Choque Térmico*, apresentam diferenças pequenas. Os ensaios realizados com o *Método do Choque Térmico* conduzem a valores superiores de condutibilidade térmica;
  - A presença de humidade nos provetes leva a valores de condutibilidade térmica superiores. O crescimento da condutibilidade térmica com o aumento da humidade não é, contudo, linear. Verifica-se que o crescimento é inferior em regime higroscópico para passar a um crescimento superior para teores de humidade elevados.

### 8.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os objectivos deste trabalho não se esgotam neste texto e, assim, podem ser sugeridos diversos estudos para dar continuidade ao trabalho iniciado, nomeadamente:

- Sugere-se a realização de ensaios de arrancamento por tracção considerando outras variáveis, nomeadamente: uso de anel de corte como equipamento de pré-corte realizando-o ainda com a



argamassa fresca; recurso a pastilhas quadrangulares de dimensões 100 mm x 100 mm, 200 mm x 200 mm e 45 mm x 45 mm; aplicação de cola à base de poliéster; controlo e alteração da espessura da camada de cola e da excentricidade das pastilhas e utilização de outro tipo de equipamento de aplicação de força;

- Sugere-se a aquisição de uma peça para adaptar ao existente aparelho *Martinet Baronnie* de modo a ser possível a realização do ensaio de choque de esfera com energia de 10 J;
- De modo a contribuir para uma maior aplicação de normas no âmbito da Construção, sugere-se um tratamento idêntico ao levado a cabo nesta dissertação a outros ensaios laboratoriais e *in situ*;
- Por fim, sugere-se a realização de ensaios com recurso a equipamentos de utilização menos comum, a fim de os conhecer melhor bem como conhecer todo as dificuldades que o seu uso implica.



## BIBLIOGRAFIA

- ABNT (2002). *Desempenho de edifícios habitacionais até 5 pavimentos - Parte 4: Fachadas e paredes internas*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Antoniuzzi, Juliana Pippi (2008). *Patologia na Construção: Abordagem de Diagnóstico e Estudo de caso em Marquises*. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria.
- ASTM. *D 4541-02: Standard Test Method for Pull-off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. Montagem por ASTM. USA, Abril de 2002.
- Barreira, Eva; Delgado, João M.P.Q. Delgado; Freitas, Vasco Peixoto de; Ramos, Nuno M.M. (2009). Propriedades Higrotérmicas utilizadas em simulações numéricas. In *3.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, 429-433, edição dos autores, Porto, 18-20 de Março.
- Barreira, Eva Sofia Botelho Machado (2004). *Aplicação de Termografia ao estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Bazand Z.P.; Asghari, A. A.; Schmidt, J. (1972). *Matériaux et Contructions – Essai n° II.3 Absorption d’eau sous basse pression (à la boîte)*, Vol. 13, N° 75, pp. 200.
- Beer, F. B.; Johnston Júnior, E. R. (1996). *Resistência dos Materiais*. McGRAW-HILL. São Paulo.
- CEN (2007). *EN 1348: Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesive*. Montagem por European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization, August de 2007.
- Carasek, Helena (2009). *Garantindo o Desempenho de Revestimentos de Argamassa*. Textos de apoio das disciplinas do Mestrado em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás.
- CEN (2008). *NP EN 12004: Colas para ladrilhos. Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação*. Bruxelas: IPQ, Setembro de 2008.
- CEN (2005). *EN 993-14: Methods of test for dense shaped refractory products – Determination of thermal conductivity by the hot-wire (cross-array) method*. Montagem por European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization, May de 2005.
- CEN (2005). *EN 993-15: Methods of test for dense shaped refractory products – Determination of thermal conductivity by the hot-wire (parallel) method*. Montagem por European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization, May de 2005.
- CEN (2000). *EN 1015-12: Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrate*. Montagem por European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization, Fevereiro de 2000.
- CEN (2002). *EN 13495: Thermal insulation products for building applications - Determination of the pull-off resistance of external thermal insulation composite systems (ETICS)(foam block test)*. Montagem por European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization 19 de Agosto de 2002.
- CEN (2002). *EN 13497: Thermal insulation products for building applications - Determination of the resistance to impact of external thermal insulation composite systems (ETICS)*. Montagem por

European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization 19 de Agosto de 2002.

Corvacho, Maria Helena (2000). *Durabilidade da Construção: Metodologias do Projecto para a Durabilidade – Planeamento da Vida Útil de um Edifício*. Textos de apoio à disciplina de Patologia da construção no âmbito do Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Costa, Eliane; Carasek, Helena (2009). Recomendações para a execução do ensaio de resistência de aderência à tracção em revestimentos de argamassas. *VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Curitiba – PR – Brasil, 18 de Maio.

EOTA (2003) - "Determination of impact resistance of panels and panel assemblies". Technical Report TR 001. Brussels: European Organisation for Technical Approvals.

EOTA (2000). *ETAG 004 – Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*. European Organisation of Technical Approvals, Brussels.

Flores-Colen, Inês; Brito, Jorge de; Branco, Fernando A. (2007). *Avaliação “in-situ” da aderência de materiais de revestimento*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. 22-23 de Novembro, Lisboa.

Flores-Colen, I. (2009). *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*. Tese de doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, volume 1, 487p.

Freitas, Vasco Peixoto de; Ramos, Nuno Monteiro; Pereira, Pedro (2009a). *Boletim de Ensaio. Determinação da Condutibilidade Térmica de Argamassa para Reboco com Inertes de Cortiça*. Relatório de carácter particular, Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Freitas, Vasco Peixoto de; Ramos, Nuno Monteiro; Pereira, Pedro (2009b). *Boletim de Ensaio. Determinação da Condutibilidade Térmica de provetes de espuma de poliuretano*. Relatório de carácter particular, Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Freitas, Vasco Peixoto de; Machado, Nuno Mendes (2001). *Boletim de Ensaio. Ensaio de Permeabilidade Líquida “in situ”*. Relatório de carácter particular, Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Freitas, Vasco de Peixoto de; Barreira, Eva; Ferreira, Cláudia (2006). *Qualidade da Envolvente de Edifícios e Solicitação Higrotérmica*. Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, Lisboa, 21 a 24 de Novembro.

Freitas, Vasco Peixoto de (2002). *Seleccção de Painéis Prefabricados em Betão da Pregais para Aplicação em Fachadas*. Relatório de carácter particular, Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Freitas, Vasco Peixoto de; Torres, Maria Isabel; Guimarães, Ana Sofia (2008). *Humidade Ascensional*. FEUP edições, Porto.

<http://www.astm.org/> 15/06/2010

<http://www.cen.eu/cen/pages/default.aspx> 15/06/2010

<http://paginas.fe.up.pt/~lfc-scc/ensaio04.html> 14/04/2010

<http://www.iso.org/iso/home.html> 15/06/2010

ISO (1988). *Vertical building elements – Impact resistance tests – Impact bodies and general test procedures*. Montagem por International Organization for Standardization.

Lanzinha, João Carlos Gonçalves (1998). *Propriedades Higrotérmicas de Materiais de Construção*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

LFC (2002). *Manual de funcionamento CT-Mètre*. Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

LNEC (1980). *Revestimento de paredes. Revestimentos de Paredes, Ensaio de choque de esfera. Ficha de ensaio FEPA25*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Machado, Nuno Mendes; Ramos, Nuno Monteiro (2008). *Ensaio Mecânicos sobre o Revestimento de Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior – ETICS com Aglomerado Negro de Cortiça*. Relatório de carácter particular, Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Magalhães, Ana Cristian; Veiga, Maria do Rosário; Costa, Dória (2005). *Caracterização do estado de conservação de revestimentos de paredes antigas através de ensaios “in situ”. Dois casos de estudo*. In VI Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (VI SBTA), I International Symposium on Mortars Technology, Florianópolis (Brasil), 23-25 de Maio.

Matos, Maria (2007). *Durabilidade como Critério de Projecto: O Método Factorial no contexto Português*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Mendonça, Luís Viegas (2005). *Condensações em Edifícios*. Arquitectura e Vida, nº 63, Setembro, pp. 71-74.

Pereira, Fernando Pedro Ferreira (2009). *Avaliação Laboratorial do ETICS*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Quintela, Marisa Betânia de Oliveira Antunes (2006). *Durabilidade de Revestimentos Exteriores de Parede em Reboco Monocamada*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

RILEM. *RILEM Recommendation MDT. D.3. Determination “in situ” of the adhesion strength of rendering and plastering mortars to their substrate*. Materials and Structures. RILEM Publications, Agosto-Setembro de 2004: 488-490.

Rosenbom, Kim (1993). *Concise user Manuel and data assortment for the CT-Metre*. Edição do autor. Porto.

Sá, Ana (2005). *Durabilidade de Cimentos-Cola em Revestimentos Cerâmicos Aderentes a Fachada*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Santos, Carlos A. Pina dos; Matias, Luís (2006). *Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, ITE 50, Lisboa.

Sousa, Armindo José Coelho de (2010). *Aplicação de Argamassas Leves de Reboco e Assentamento em Alvenarias*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sousa, Marília Margarida Ferreira de (2004). *Patologia da Construção – Elaboração de um Catálogo*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Tavares, Martha Lins; Veiga, Maria do Rosário (2007). *A Conservação de Rebocos Antigos – Restituir a Coesão perdida através da Consolidação com Materiais Tradicionais e Sustentáveis*. VII Seminário Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (VII SBTA), Recife (Brasil), 01-04 de Maio.

Thorogood, R. P. (1982) - "Resistance of external walls to impacts from hard objects: Research leading to requirements and an assessment technique". In: ASTM / CIB / RILEM Performance Concept in Building Symposium. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia. 1: pp. 203-212.

Torres, Maria Isabel Morais (2004). *Humidade ascensional em paredes de construções históricas*. Dissertação de doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Vasconcelos, Bruno Esteves de (2010). *Avaliação do Desempenho Higrotérmico de Paredes em Regime Dinâmico em Função do Clima*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Veiga, Maria do Rosário (2005). *Comportamento de revestimentos de fachada com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, APFAC, 24-25 de Novembro.

Vieira, André Miguel da Silva (2009). *Caracterização de Revestimentos Exteriores através de Ensaios de Arrancamento por Tracção*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

## **ANEXOS**

**CALENDARIZAÇÃO REAL DE TAREFAS  
LABORATORIAIS**







### Calendarização Real de Tarefas Laboratoriais

Dia	Hora	Tarefa Desempenhada
24-03-2010	Ao longo de todo o dia	Marcação das posições dos ensaios de arrancamento, choque de esfera e permeabilidade líquida em todas as paredes
25-03-2010	8:30h	Execução dos pré-cortes quadrangulares nas paredes A e B
	14h às 15h	Execução dos pré-cortes circulares em todas as paredes
	16h	Colagem das pastilhas circulares nas paredes A e B
	17:30h	Colagem das pastilhas circulares na parede C
26-03-2010	14h	Execução de um novo pré-corte circular e de nova colagem na posição A <sub>10</sub>
	15:30h às 16:30h	Execução dos pré-cortes quadrangulares na parede C e colagem das pastilhas
29-03-2010	14:30h	Montagem do aparelho de permeabilidade líquida e selagem com <i>Mastique</i>
	16h às 18h	Ensaio de arrancamento com pastilhas circulares nas paredes A, B e C e com pastilhas quadrangulares na parede C
	18h	Limpeza das pastilhas quadrangulares
	19h	Colagem das pastilhas quadrangulares na parede A
30-03-2010	10h	Primeira simulação do ensaio de permeabilidade líquida (Problema: fuga de água no canto superior esquerdo)
	10:30h	Aplicação da <i>Mastique</i> no local da fuga de água e na válvula inferior
	11h	Ensaio de arrancamento com pastilhas quadrangulares na parede A
	11:30h	Limpeza das pastilhas quadrangulares
	12h	Colagem das pastilhas quadrangulares na parede B
	15h	Segunda simulação do ensaio de permeabilidade líquida (Problema: fuga de água no mesmo local)
	15:30h	Desmontagem do aparelho de permeabilidade líquida
	16h	Montagem do aparelho de permeabilidade líquida, noutra posição, e selagem com <i>Mastique</i>
	16:30h	Limpeza de pastilhas
	17h	Colagem das pastilhas circulares nas paredes A e B para ensaios sem pré-corte
31-03-2010	10h	Ensaio de arrancamento nas posições A <sub>1</sub> " , A <sub>2</sub> " e A <sub>3</sub> " (sem pré-corte) → Rotura pela cola (tempo de secagem insuficiente)
	11h	Terceira simulação do ensaio de permeabilidade líquida (Problema: fuga de água no mesmo local)
	11:30h	Desmontagem do aparelho de permeabilidade líquida
	11:45h	Selagem do canto superior direito do aparelho de permeabilidade líquida
	12h	Limpeza de pastilhas
	12:15h	Colagem das pastilhas nas posições A <sub>1</sub> "* , A <sub>2</sub> "* e A <sub>3</sub> "*
	15:30h	Ensaio de arrancamento na posição A <sub>7</sub> " (sem pré-corte) → Rotura pela cola (tempo de secagem insuficiente)



	15:45h	Ensaio de arrancamento com pastilhas quadrangulares na parede B
	16:30h	Montagem do aparelho de permeabilidade líquida, noutra posição, e selagem com <i>Mastique</i>
06-04-2010	10h	Ensaio de arrancamento sem pré-corte
	11h	Quarta simulação do ensaio de permeabilidade líquida (Problema: ausência de saída de ar)
	11:30h	Desmontagem do aparelho de permeabilidade líquida
	11:45h	Colocação de um tubo para saída de ar no aparelho de permeabilidade líquida
	12h	Montagem do aparelho de permeabilidade líquida, na posição 1, e selagem com <i>Mastique</i>
07-04-2010	14h	Realização do ensaio de permeabilidade líquida sobre a parede A (P1)
	15h	Desmontagem do aparelho de permeabilidade líquida
08-04-2010	14h	Montagem do aparelho de permeabilidade líquida e selagem com <i>Mastique</i> sobre a parede C
09-04-2010	14h	Primeira simulação do ensaio de permeabilidade líquida (Problema: Má selagem)
	15h	Desmontagem do aparelho de permeabilidade líquida
	15:45h	Montagem do aparelho de permeabilidade líquida e selagem com <i>Mastique</i> sobre a parede C
12-04-2010	14h	Realização do ensaio de permeabilidade líquida sobre a parede C (P2)
	14:45h	Desmontagem do aparelho de permeabilidade líquida
01-06-2010	9h	Realização de ensaios para de terminação da condutibilidade térmica com o CT-Mètre (Objectivo: Ganhar experiência)
	12h	Determinação da massa dos provetes de poliuretano (1 e 2) e de argamassa com inertes de cortiça (3 e 4)
	12:15h	Introdução dos provetes na câmara climática à temperatura de 25°C e 50% de HR
02-06-2010	11:30h	Determinação da massa de todos os provetes
07-06-2010	10h	Determinação da massa de todos os provetes
	16:30h	Determinação da massa de todos os provetes
	16:40h	Envolvimento dos provetes em película aderente
	17h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre provetes de calibração do Holometrix com o CT-Mètre
	17:15h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre os provetes de poliuretano a uma HR de 50%
	17:30h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre os provetes de argamassa com inerte de cortiça a uma HR de 50%
	18h	Imersão total dos provetes em água (desprovidos da película)
08-06-2010	10h	Limpeza da água presa nas faces dos provetes de argamassa e escorrimento por gravidade da água dos provetes de poliuretano
	10:15h	Determinação da massa de todos os provetes e nova imersão dos mesmos



	14h	Limpeza da água presa nas faces dos provetes de argamassa e escorrimento por gravidade da água dos provetes de poliuretano
	14:15h	Determinação da massa de todos os provetes
	14:25h	Envolvimento dos provetes em película aderente
	14:30h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre os provetes de poliuretano muito humidificados
	15h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre os provetes de argamassa com inerte de cortiça muito humidificados
	15:30h	Introdução dos provetes na câmara climática à temperatura de 25°C e 90% de HR (desprovidos da película)
14-06-2010	11:45h	Determinação da massa de todos os provetes
	18h	Determinação da massa de todos os provetes
15-06-2010	10h	Determinação da massa de todos os provetes
	10:15h	Envolvimento dos provetes em película aderente
	10:30h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre os provetes de poliuretano a uma HR de 90%
	11:00h	Ensaio de condutibilidade térmica sobre os provetes de argamassa com inerte de cortiça a uma HR de 90%
	11:30h	Introdução dos provetes na estufa à temperatura de 70°C
21-06-2010	18hh	Determinação da massa de todos os provetes
22-06-2010	10h	Determinação da massa de todos os provetes secos